



**Atti del XXII Convegno Nazionale di Agrometeorologia**

# **Ricerca ed innovazione per la gestione del rischio meteo - climatico in agricoltura**

**Portici (NA) 11-12-13 giugno 2019**

A cura di Francesca Ventura, Giovanni Maria Poggi

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari

Università di Bologna



ISBN 978-88-5497-000-7

DOI <http://doi.org/10.6092/unibo/amsacta/6175>

### **Comitato scientifico**

Francesca Ventura

Federica Rossi

Filiberto Altobelli

Miriam Carmen Beltrano

Anna Dalla Marta

Emanuele Scalcione

Federico Spanna

Domenico Ventrella

### **Comitato organizzatore**

Giovanbattista Chirico

Giuliano Langella

Giovanni Maria Poggi

Flavia Tropiano

### **Segreteria organizzativa**

Simone Falzoi

Tiziana La Iacona

Irene Vercellino

Foto di copertina: Università di Napoli

Bologna, 2019



Atti del XXII Convegno Nazionale di Agrometeorologia

# Ricerca ed innovazione per la gestione del rischio meteo - climatico in agricoltura

Portici (NA) 11-12-13 giugno 2019

A cura di Francesca Ventura, Giovanni Maria Poggi

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari

Università di Bologna



# Ricerca ed innovazione per la gestione del rischio meteo - climatico in agricoltura

## Sessione 1 - Il cambiamento climatico e i rischi per l'agricoltura

Il WMO sancisce l'importanza degli osservatori meteorologici storici

*Beltrano M. C.*..... 9

La piattaforma CLIME per il supporto agli operatori agricoli nell'adattamento ai  
cambiamenti climatici

*Barbato G., Villani V., Rianna G., Mercogliano P., Rizzo A.*..... 13

L'agricoltura italiana ha bisogno di una nuova struttura concettuale sulla gestione del  
rischio climatico. Il ruolo dell'agrometeorologia

*Pontrandolfi A.*..... 18

Valutazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> da tappeti erbosi: confronto fra festuca  
arundinacea e cynodon dactylon a differenti livelli di concimazione azotata

*Verdi L., Brandani G., Baldi A., Mancini M., Dalla Marta A., Caturegli L.,  
Orlandini S., Volterrani M.*..... 24

Analisi della produzione primaria lorda in un vigneto piemontese utilizzando tecniche di  
telerilevamento

*Falzoi S., Spanna F., Borgogno Mondino E. C., Green S., Fratianni S.*..... 29

Danni da freddo su piante di olivo nelle Marche a seguito della gelata di febbraio 2018

*Tognetti D., Alfei B., Nardi S., Pannelli G.*..... 33

L'influenza della gestione del suolo e del traffico agricolo sulla conservazione  
dell'acqua e del suolo: un caso studio in Piemonte

*Capello G., Biddoccu M., Cavallo E.*..... 38

Valutazione del drenaggio idrico in area collinare vitivinicola per mezzo del modello

Criteria 3D per la caratterizzazione dell'acquifero superficiale e del rischio contaminazione da fitofarmaci e fertilizzanti azotati	
<i>Suciu N., Antolini G., Tomei F., Marcaccio M., Russo E., De Crema M., Peroncini E., Capri E., Zambito Marsala R., Farolfi C., Marletto V.</i> .....	44
Trend della siccità agricola in alcuni areali delle regioni Umbria e Abruzzo	
<i>Di Lena B., Vergni L., Chiaudani A.</i> .....	47
Carbon footprint della produzione di frumento Verna con metodo biologico e convenzionale, in Toscana	
<i>Mancini M., Verdi V., Leolini L., Orlandini S., Dalla Marta A.</i> .....	52
La interpolazione della bagnatura fogliare sulle Marche: tre modelli a confronto	
<i>Tognetti D., Leonesi S.</i> .....	56

## POSTERS

Evento alluvionale del 27-30 ottobre 2018 in Veneto	
<i>Delillo I., Barbi A., Bonini Baraldi A., Checchetto F., Rech F.</i> .....	61
Areali di coltivazione del finocchio e cambiamento climatico in regione Basilicata	
<i>Lacertosa G., Quinto G. R., D'Angella F., Scalcione E.</i> .....	65
Water use efficiency in drought stressed Lettuce ( <i>Lactuca sativa</i> ) in the central dry zone of Myanmar	
<i>Orsini F., Michelon N., Pennisi G., Nang Ohn Myint, Gianquinto G.</i> .....	68
A European Project to enhance knowledge and awareness about viticulture suitability under climate change	
<i>Padovan G., Merante P., Leolini L., Bindi M., Moriondo M.</i> .....	71
Assessment of the climate change impacts on crops by adopting a set of crop performance indicators	
<i>Padovan G., Merante P., Leolini L., Costafreda-Aumedes S., Trombi G., Brilli L., Moriondo M.</i> .....	75

Il cambiamento climatico nell'appennino bolognese e conseguenze sulla produzione di energia eolica	
<i>Tomozeiu R., Meluzzi F., Monti R., Marletto V.</i> .....	80
Phenological development of hop ( <i>humulus lupulus</i> L.) in the emilia-romagna region	
<i>Volta A., Carlino U., Pratizzoli W., Antolini G., Baldoni G., Marletto V.</i> .....	85

## Sessione 2 - **Strumenti per la previsione e strategie per la prevenzione del rischio**

Exploring the use of weather time series from hobby meteorologists for crop modelling application in urban agriculture	
<i>Altobelli F., Lupia F., Cirone F., Gabrieli G., Vassallo M., Dalla Marta A.</i> .....	88
Monitoraggio della stabilità meccanica degli individui arborei tramite un sensore GNSS a basso costo	
<i>Coletta V., Mascitelli A., Bombi P., De Cinti B., Federico S., Matteucci G., Mazzoni A., Muzzini V.G., Petenko I., Crespi M., Dietrich S.</i> .....	91
Fulmini e agricoltura in tempi di cambiamento climatico	
<i>Dietrich S., Coletta V., D'Adderio L.P., Federico S., Paziienza L., Torcasio C.</i> .....	96
Comparison and validation of daily meteorological data from ERA5 reanalysis with observational surface data for the Emilia-Romagna region	
<i>Ben Hamouda G., Pavan V., Antolini G., Botarelli L., Ventura F.</i> .....	101
Valutazione e quantificazione degli impatti ambientali della produzione di olio d'oliva: tre sistemi di coltivazione a confronto	
<i>Brandani G., Baldi A., Fabbri C., Cecchi S., Mancini M.</i> .....	106
Studio preliminare per lo sviluppo di un DSS relativo all'utilizzo agronomico degli effluenti zootecnici e digestati	
<i>Cicogna A., Gallina V., Carnio A., Barbieri S., Volpe V.</i> .....	110

Le potenzialità dei Servizi Agrometeorologici Regionali nella difesa integrata delle colture agrarie. Risultati da una recente indagine

*Epifani C., Alilla R., Dal Monte G., De Natale F., Esposito S., Parisse B., Pontrandolfi A.*..... 117

## POSTERS

Simulations on different grapevine cultivars with the IVINE crop growth model

*Andreoli V., Cassardo C., Cavalletto S., Spanna F.*..... 121

Near real time procedure for snow detection using satellite images

*Spisni A., Baraldi A., D. Sapia L.D., Chatzidaki E.*..... 125

### Sessione 3 - **Servizi agrometeorologici per l'applicazione della difesa integrata delle colture agrarie**

Analisi della riflettanza iperspettrale di due varietà antiche di frumento sottoposte a differenti trattamenti agronomici

*Mancini M., Pieri M., Napoli M., Fabbri C., Brandani G., Vivoli R., Dalla Marta A., Orlandini S., Grassi C., Grifoni D.*..... 131

Stime di produttività dei pascoli a diverse scale

*Cola G., Comolli R., Mariani L., Ferré C., Parisi S.*..... 136

Radiosondaggi di Udine: analisi dei trend delle temperature in quota (1982-2018), della quota dello zero termico (1992-2017) e confronto con dati a terra

*Cicogna A., Pucillo A., Manzato A., Gallina V., Micheletti S.*..... 139

## POSTERS

L'utilizzo di telegram nella diffusione dei servizi informativi agrometeo della regione liguria <i>Pini S., Federici S., Ghironi M., Guardavila A., Sassi L.....</i>	146
Midterm behaviour of surface layer and soil parameters in selected Piedmontese vineyards <i>Cassardo C., Andreoli V., Falzoi S., Laiacona T., Spanna F.....</i>	149

# IL WMO SANCISCE L'IMPORTANZA DEGLI OSSERVATORI METEOROLOGICI STORICI

## WMO ESTABLISHES THE IMPORTANCE OF HISTORIC METEOROLOGICAL STATIONS

Maria Carmen Beltrano <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> già Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, WMO Advisory board for the recognition of long-term observing stations  
[\\*mariacarmen.beltrano55@gmail.com](mailto:mariacarmen.beltrano55@gmail.com)

### Abstract

The meteorological data of the past constitute a reliable information base, as it is based on true data, useful for studying climate change and understanding the happening changes.

In the world, most of the centennial meteorological stations are located in environment that have changed over time, but many of these are still functioning in environmental conditions very similar to the initial ones.

The WMO has developed a mechanism of recognition of "centennial station" that can contribute to climate research. The program indirectly promotes observational standards and good data collection practices, factors that facilitate the generation of high quality time series.

The recognition also aims to raising awareness among Governments and Institutions that manage long period observatories to they intervene for ensuring their preservation and enhancement and for ensuring continuity and stability of meteorological measurements also in the future.

### Parole chiave

WMO, stazioni centenarie, cambiamento climatico

### Keywords

WMO, centennial stations, climate change

### Introduzione

Nonostante la sempre più frequente propensione ad utilizzare i dati meteorologici del periodo trentennale più recente per simulare la tendenza del clima nei prossimi decenni, la comunità scientifica internazionale attribuisce un crescente interesse ai dati meteorologici del passato remoto, riconoscendo ad essi il ruolo di base informativa sicura, fondata su dati osservativi reali, per studiare e comprendere i mutamenti climatici in atto.

Recependo tale esigenza, l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), Agenzia delle Nazioni Unite impegnata nel coordinamento internazionale delle attività di servizio e ricerca meteorologica e climatica, ha intrapreso specifici programmi internazionali per incoraggiare il recupero e l'uso dei dati meteorologici storici<sup>1</sup> e per valorizzare e salvaguardare gli osservatori centenari<sup>2</sup> che li hanno prodotti.

I dati raccolti da questi osservatori costituiscono un vero e proprio patrimonio informativo sia dal punto di vista scientifico che culturale. Non bisogna dimenticare, infatti, che, fino agli anni '80 del XX secolo, le stazioni meteorologiche erano tutte presidiate e il personale addetto

alle osservazioni spesso accompagnava la misura con descrizioni dell'evento rilevato, soprattutto nei casi "di eventi eccezionali". In tal modo i registri e le schede osservative assumono ulteriore interesse, in quanto contengono informazioni che costituiscono un termine di confronto per la valutazione dell'entità dei fenomeni estremi e per lo studio dei tempi di ritorno degli stessi.

Uno specifico programma del WMO sostiene e vuole promuovere la consapevolezza dell'importanza strategica degli osservatori meteorologici storici e delle loro lunghe serie di dati. Attraverso un meccanismo di valutazione, riconosce le "stazioni centenarie" che hanno le caratteristiche per essere considerate di interesse per gli studi di climatologia.

### Materiali e Metodi

La maggior parte degli osservatori meteorologici con serie osservative ultracentenarie, nel mondo, sono ospitati in conventi, scuole, università, uffici pubblici. Specialmente nel caso delle sedi religiose, essi non hanno subito grandi spostamenti, anche se il contesto al contorno si è modificato nel corso del tempo, a causa soprattutto dei processi di urbanizzazione. In molti casi, invece, la sede di osservazione è stata spostata per esigenze varie. Tuttavia, sono ancora numerosi gli osservatori che funzionano in condizioni ambientali molto simili a quelle esistenti all'epoca di inizio delle osservazioni.

---

<sup>1</sup><https://public.wmo.int/en/resources/meteoworld/international-data-rescue-i-dare-portal>

<sup>2</sup><https://public.wmo.int/en/our-mandate/what-we-do/observations/centennial-observing-stations>

Nel maggio 2013, la 66<sup>a</sup> sessione del Consiglio esecutivo del WMO ha richiesto alle Commission for Climatology (CCI), Commission for Instruments and Methods of Observations (CIMO), Global Climate Observing System (GCOS) di attuare un'indagine sui meccanismi di certificazione dei siti di monitoraggio, delle reti di rilevamento e sulle norme di osservazione, per istituire un meccanismo appropriato di riconoscimento delle stazioni di osservazione centenarie, sulla base di una serie minima di criteri di valutazione oggettivi. Nel giugno 2014, gli esperti del WMO di CCI, Commissione per i sistemi di base (CBS), CIMO, GCOS, WIGOS e il segretariato hanno consolidato i criteri e proposto il meccanismo. Il programma del WMO è partito in fase sperimentale nel 2015, è stato testato su un numero limitato di stazioni e le conclusioni esaminate dal Consiglio Esecutivo (Risoluzione 35 (Cg-17)). A giugno 2016, il 68 ° Consiglio Esecutivo ha approvato il meccanismo.

Le stazioni "candidate" devono quindi dare informazioni riguardo a:

- inizio delle osservazioni (almeno 100 anni fa),
- variabili osservate,
- presenza di metadati,
- presenza di lacune nella serie osservativa,
- eventuali spostamenti di sede,
- osservanza degli standard WMO, per la strumentazione e per il sito,
- controlli di qualità dei dati,
- omogeneizzazione della serie,
- azioni di recupero dei dati,
- modalità di accesso ai dati.

La prima call ufficiale si è svolta nel 2017. Gli Stati Membri sono stati invitati a presentare le candidature delle stazioni centenarie, attraverso un modello di autovalutazione, nel quale oltre a fornire le informazioni richieste, le stazioni forniscono una serie di notizie generali (lat., log., alt., nome ente gestore, nome referente, ecc.).

La valutazione è condotta da un gruppo di lavoro nel quale diverse Commissioni<sup>3</sup>, il segretariato del WMO e i Membri operano in stretta collaborazione. L'advisory board esamina i dati forniti dalle stazioni candidate, valutando la rispondenza ai requisiti stabiliti.

Sulla base della valutazione, il Consiglio esecutivo WMO sancisce il riconoscimento.

Fino ad oggi, le sessioni di riconoscimento delle stazioni centenarie sono state due, una nel giugno 2016, l'altra nel giugno 2018. In quest'ultima sei stazioni italiane hanno ricevuto il titolo di *stazione centenaria*.

Nel mondo sono numerosissimi gli osservatori ultra secolari che rivestono interesse per le ricerche climatologiche e tutti i Membri possono partecipare alla ricognizione. Il WMO, pertanto, ha previsto di programmare call ogni due anni per assegnare il riconoscimento agli osservatori che hanno le adeguate caratteristiche.

## Risultati e Discussione

Gli osservatori italiani che nel giugno 2018 hanno ottenuto il riconoscimento internazionale di *osservatorio centenario* sono:

- Osservatorio del *Collegio Carlo Alberto* di Moncalieri (della Società Meteorologica Italiana, inizio osservazioni nel 1859),
- Osservatorio *Alessandro Serpieri* di Urbino (dell'Università, inizio osservazioni nel 1850),
- Osservatorio *Valerio* di Pesaro (del Comune, inizio osservazioni nel 1871),
- *Osservatorio Ximeniano* di Firenze (della Fondazione Ximeniano, inizio osservazioni nel 1813),
- Osservatorio di *Roma Collegio Romano* (del Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria - CREA ente vigilato dal Mipaaft<sup>4</sup>, inizio osservazioni nel 1787<sup>5</sup>),
- *Vigna di Valle* (dell'Aeronautica Militare, inizio osservazioni nel 1910).

Agli Osservatori che hanno ottenuto il riconoscimento ho chiesto di fornire alcune informazioni di base, esplicitate in tabella 1, sullo stato funzionale e gestionale dell'osservatorio, per individuare punti di forza e criticità.

*Tab.1 – Informazioni richieste nell'indagine sullo stato degli osservatori centenari.*

*Tab.1 – Information requested in the survey on the status of centennial stations.*

<b>Ente gestore</b>	Pubblica o privata
<b>Tipo di stazione</b>	Meccanica/automatica
<b>Staff</b>	Numero impiegati/ volontari
<b>Rete di monitoraggio</b>	Nome della rete di afferenza/ente
<b>Banche dati</b>	Nome del database di riferimento/ ente
<b>Diffusione dati in tempo reale</b>	SI (modalità) / No
<b>Uso del dato</b>	Previsione/climatologia/modellistica ...
<b>Condivisione libera del dato</b>	SI (modalità) / No
<b>Manutenzione</b>	No manutenzione negli ultimi due anni
	Regolare controllo, tecnici interni/esterni

I risultati, riportati sinteticamente in tabella 2, hanno evidenziato l'esistenza di realtà operative molto diversificate e di forti criticità che potrebbero, in futuro, mettere a rischio la continuità operativa dei citati osservatori.

La gestione di alcuni di essi è affidata ad amministrazioni pubbliche (Università, Municipalità, Enti di ricerca, Aeronautica Militare), quella di altri è sostenuta da associazioni private (Fondazioni, Associazioni). Altra differenza tra gli osservatori è rappresentata dalla

<sup>4</sup>Ministero delle politiche agricole alimentari, forestali e del turismo

<sup>5</sup>Dal 1998 è anche sito di monitoraggio della Rete Agrometeorologica Nazionale del Mipaaft.

<sup>3</sup> CCI, Commission for Basic Systems (CBS), CIMO, GCOS.

eterogenea gestione del personale: in alcuni casi l'attività di mantenimento operativo è delegata esclusivamente a personale volontario. Laddove e la conduzione esecutiva delle osservazioni è affidata a personale dipendente dell'amministrazione che gestisce l'osservatorio, la situazione è anch'essa problematica; in particolare, gli osservatori in cui ad operare è un'unica persona afferiscono ad Amministrazioni che non manifestano interesse e sensibilità al problema del turnover del personale.

*Tab.2 – Sintesi dei risultati dell'indagine. Evidenziata in grigio Roma Collegio Romano presso cui la stazione automatica non ha ricevuto manutenzione negli ultimi due anni.*

*Tab.2 – Summary of the survey results. Highlighted in gray Rome Collegio Romano where the automatic station has not received maintenance in the last two years.*

Stazioni	Moncalieri	Firenze Ximeniano	Urbino	Pesaro	Roma C. R.	Vigna di Valle
Istituzione	Privata SMI	Privata (Fondazione Ximeniano)	Pubblica (Università)	Pubblica (Comune)	Pubblica (CREA)	Pubblica (AM)
Tipo di stazione	A	A	M/A	A	M/A	A
Staff	2 volontari	2 volontari + 1 impiegato CNR	1 impiegato + 1 volontario	1 impiegato	1 impiegato	5 impiegati
Rete di afferenza	Ex UCEA	CNR/ LaMMA/ ex UCEA (fino a 1997)	Urban network/ ASSAM/ Ex UCEA	Ex UCEA	Ex UCEA/ RAN	AM / WMO: RBSN, GCOS, RBCN, EUMETNET
Data base	SMI DB e BDAN	BDAN (fino a 1997)	Local DB e BDAN	Local DB e BDAN	BDAN	Air Force DB e BDAN
Condivisione dati in tempo reale	si/web	No	si/web	No/ report mensili su web	No si/web	WMO - Global Telecommunication System
Uso del dato	Climatologia	Previsioni/ Modellistica climatologia	Climatologia	Climatologia	Climatologia modellistica	Assistenza al volo/ Previsioni/ Modellistica
Disponibilità libera dei dati	No	No	Elaborazioni dal 2000 su web	Elaborazioni su web Dati su richiesta	No	No

Tutti gli osservatori fanno parte di reti di monitoraggio, sebbene esse siano differenti (regionali o nazionali). Gli strumenti e i sensori sono sottoposti a verifiche di funzionalità da parte del personale e ad interventi di manutenzione, sia da parte del personale stesso, sia da parte di personale specializzato e ciò garantisce la qualità dei dati rilevati. Solo l'Osservatorio di Roma Collegio Romano versa in una situazione di temporanea precarietà per ciò che riguarda la manutenzione della stazione automatica (appartenente alla Rete Agrometeorologica Nazionale del Mipaaf). Fortunatamente in questo sito non è mai stata interrotta la rilevazione da strumenti meccanici, per cui la serie di rilevamento non è mai stata interrotta.

Solo in alcuni casi i dati rilevati sono utilizzati in tempo reale per finalità previsionale e di modellistica. Raramente i dati osservati sono disponibili per il pubblico in tempo reale: nei casi in cui ciò accade, i dati sono pubblicati su web, tuttavia quelli storici sono accessibili solo in alcuni casi e solo parzialmente. Nella maggior parte dei casi l'uso degli stessi dati è limitato agli enti che hanno la gestione dell'osservatorio.

La situazione di questo piccolo campione di siti osservativi centenari, come visto, è davvero molto eterogenea.

Tuttavia, un elemento accomuna tutti i sei osservatori centenari: i loro dati sono riversati, in automatico (Vigna di Vale e Roma Collegio Romano) o mediante digitalizzazione manuale (data entry), nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale (BDAN) del Mipaaf<sup>6</sup>. Oltre ai dati delle sei stazioni centenarie che hanno ottenuto il riconoscimento dal WMO, la BDAN contiene anche i dati meteorologici di moltissime altre stazioni meteorologiche italiane<sup>7</sup>.

Il principale elemento di rischio per la continuità operativa e la futura esistenza dei sei osservatori va ricercato nella gestione individualistica di questi presidi meteorologici. L'eterogeneità tra istituzioni pubbliche e private che li gestiscono non permette di "fare sistema".

D'altronde l'odierno panorama operativo del settore meteorologico e climatico italiano, a livello di servizio e di ricerca, manifesta l'esistenza di realtà nazionali e locali, sia a livello del monitoraggio sia a livello della ricerca. La frammentarietà e la disorganica gestione del servizio meteorologico in Italia ha come conseguenza di rendere complesso il sistema meteorologico nazionale e ostacola la pianificazione di un programma organico di coordinamento nel settore, nel quale anche gli osservatori storici potrebbero avere un posto di rilievo.

Per superare l'attuale situazione di emparse, l'unica risorsa disponibile, in grado di fare dialogare i diversi attori istituzionali del settore, è rappresentata dall'Agenzia Italia Meteo, il nuovo soggetto nazionale che, infatti, dovrà avere un ruolo di coordinamento per i servizi meteorologici e climatologici italiani. Attualmente l'Agenzia non è ancora operativa, ma le sue funzioni e incarichi, conoscitivi, tecnico-scientifici e operativi, sono esplicitati nella Legge

<sup>6</sup>Si tratta di un repository che contiene dati e statistiche agrometeorologiche rilevate/calcolate delle stazioni della rete agrometeorologica nazionale, delle reti del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare e di alcune stazioni delle reti agrometeorologiche regionali. La BDAN è in continuo aggiornamento (orario) e contiene dati principalmente dal 1951, sono archiviate le serie storiche centenarie di temperatura e precipitazione (dal 1870) di circa 25 osservatori dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (oggi confluito nel CREA). Nella BDAN sono archiviati giornalmente i dati meteorologici ricostruiti e di previsione a 6 giorni riferiti ad una griglia georiferita estesa sull'intero territorio italiano (dimensione media celle 10 Km). Fonte:<http://basidati.agid.gov.it/catalogo/bd?code=149074>

<sup>7</sup>La BDAN contiene i dati osservati/calcolati e le statistiche di: 47 stazioni della Rete Agrometeorologica Nazionale dal 1991; tutte le stazioni del Servizio Meteorologico dell'AM dal 1951; circa 40 stazioni meteorologiche automatiche dei servizi agrometeorologici regionali dal 2000; circa 150 serie meteorologiche della rete meccanica dell'ex UCEA (periodi differenti, data entry a cura del CREA); circa 25 stazioni centenarie di temperatura e precipitazione della rete meccanica dell'ex UCEA dal 1880, (data entry a cura del CREA); circa 400 serie di temperatura e precipitazione, tra il 1951 e il 1971, della rete dell'ex servizio idrografico (oggi servizi meteorologi regionali); i dati correnti di circa 15 stazioni di circa 15 stazioni della rete meccanica dell'ex UCEA (data entry a cura del CREA).

di Bilancio 2018, dicembre 2017, articolo 1, ai commi 314-324, e riguardano specificatamente: “Rafforzamento e razionalizzazione dell'azione nazionale nei settori della meteorologia e climatologia - Comitato di indirizzo per la meteorologia e la climatologia e Italia Meteo”.

L'Agenzia ha tra i suoi compiti anche la realizzazione, sviluppo e gestione di reti, sistemi e piattaforme per l'osservazione, la raccolta dei dati, per le telecomunicazioni e per la condivisione, l'interoperabilità e lo scambio dei dati e delle informazioni; l'elaborazione, sviluppo e distribuzione di prodotti e servizi climatici; elaborazione, sviluppo e distribuzione di servizi climatici; .... promozione di attività di partenariato con soggetti privati (Legge di Bilancio 2018).

Se l'Agenzia Italia Meteo avrà consapevolezza anche dell'importanza degli osservatori storici, allora si potrà sperare che essi potranno contribuire ancora a lungo all'osservazione del tempo e allo studio del clima.

Inoltre, l'Agenzia Italia Meteo potrebbe adottare il patrimonio informativo della BDAN quale nucleo primario del database climatico nazionale governativo e renderlo fruibile alla comunità scientifica. In tal modo la tradizione meteorologica del Mipaaf, che si mantiene ancora oggi per ciò che riguarda il monitoraggio per fini agricoli, potrebbe assumere un ruolo sostanziale per le attività e i servizi di climatologia che rappresentano proprio uno dei punti nodali dell'attività prevista dall'Agenzia Italia Meteo.

## Conclusioni

Il meccanismo di riconoscimento delle “*stazioni centenarie*” messo a punto dal WMO promuove indirettamente standard osservativi e buone pratiche di raccolta dati, fondamentali per facilitare la generazione di serie temporali di alta qualità, che possono efficacemente contribuire alle ricerche sul clima e sul cambiamento climatico.

Il riconoscimento conferito dal WMO ha anche lo scopo di sensibilizzare i Governi e in particolare le Istituzioni che gestiscono le stazioni meteorologiche storiche, affinché intervengano in modo sostanziale per assicurare la salvaguardia e la valorizzazione dei siti di misura e per garantire continuità e stabilità alle misure meteorologiche anche per il futuro.

Il WMO è consapevole che anche gli osservatori storici con meno di cento anni di rilevazioni hanno un grande interesse climatico e per tale motivo sta elaborando una metodologia per riconoscere il valore di queste stazioni.

I sei osservatori italiani che hanno ottenuto il prestigioso riconoscimento rivestono un interesse scientifico altissimo, e sono solo una piccola rappresentanza dei numerosi osservatori meteorologici storici presenti sul territorio italiano, il cui sviluppo tra la seconda metà del '700 e tutto l'800 pone l'Italia tra le Nazioni che dispongono di serie osservative storiche di rilevante interesse per la comunità scientifica.

L'occasione del riconoscimento agli osservatori italiani ha offerto lo spunto per trattare la questione dell'importanza dei dati meteorologici storici, durante il workshop “Gli

osservatori meteorologici storici: dal recupero all'uso dei dati per gli studi sul cambiamento climatico”<sup>8</sup> che si è tenuto a Roma lo scorso 22 marzo.

L'indagine condotta sui sei osservatori centenari ha evidenziato che il funzionamento di questi siti di monitoraggio è stato garantito fino ad oggi principalmente dalla passione e dalla volontà delle persone che vi lavorano, ma le prospettive future appaiono difficili e incerte. Sarebbe utile allargare l'indagine anche alle altre numerosissime stazioni storiche italiane, per definire lo stato dell'arte sul funzionamento e rappresentatività di questi importantissimi baluardi osservativi del tempo.

La loro sopravvivenza e il recupero e uso dei dati meteorologici del passato dipendono dalla volontà degli enti di sostenerne l'onere.

Il riconoscimento internazionale rappresenta il primo passo verso un auspicato rilancio, ma è necessario sollecitare la collaborazione tra le istituzioni meteorologiche italiane. Per loro e per le Istituzioni e Enti che gestiscono in prima persona gli osservatori storici è un imprescindibile dovere garantire la continuità delle osservazioni e tutelare e valorizzare i dati meteorologici del passato, per renderli fruibili all'intera collettività.

Il ruolo dell'Agenzia Italia Meteo, in questo, è sicuramente strategico e si spera che, nel progetto operativo dell'Agenzia, ci sia anche spazio e volontà per intervenire in questo settore.

## Bibliografia

<https://public.wmo.int/en/our-mandate/what-we-do/observations/centennial-observing-stations>

Legge di Bilancio 2018 – Profili di interesse della XIII Commissione Agricoltura. A.C.4768. dic. 2017

---

<sup>8</sup>Il WS si è svolto lo scorso 22 marzo al Collegio Romano, organizzato, a latere delle celebrazioni della 69° Giornata Meteorologica Mondiale, dall'Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia (AISAM), in collaborazione con il Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA) e con il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. <https://www.aisam.eu/osservatori-storici.html>

# LA PIATTAFORMA CLIME PER IL SUPPORTO AGLI OPERATORI AGRICOLI NELL'ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

## CLIME PLATFORM TO SUPPORT FARMERS IN ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Giuliana Barbato<sup>1\*</sup>, Veronica Villani<sup>1</sup>, Guido Rianna<sup>1</sup>, Angela Rizzo<sup>1</sup> Paola Mercogliano<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Regional Models and geo-Hydrological Impacts, Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italy

<sup>2</sup> CIRIA Italian Aerospace Research Centre, Meteorology Laboratory, via Maiorise, Capua (CE), Italy

\* giuliana.barbato@cmcc.it

### Abstract

In the framework of the RURAL project, funded by the PSR 2014-2020 Campania, the ruralplus.it portal is under development in order to raise awareness of Campania's agricultural operators concerning climate change adaptation strategies. For the analysis of observed and simulated high resolution climate data, regional agricultural operators will be able to use the CLIME platform as a tool to acquire useful information for the agricultural sector on the current and future climatic conditions of the area of interest. The CLIME platform is developed by the REMHI division of the CMCC Foundation; it is a "horizontal" climate service able to provide different climatic products to different types of users. The CLIME service provides climate data both produced by CMCC Foundation and by other researcher institutes (e.g. CORDEX program). This service is also able to manage different types of observational data (both gridded dataset and weather stations).

### Parole chiave

cambiamenti climatici, servizi climatici, agricoltura, proiezioni climatiche ad alta risoluzione

### Keywords

climate change, climate services, agriculture, high-resolution climate projections

### Introduzione

Il Progetto RURAL (Ridurre la distanza tra RicercA e imprese agricoLe), è un progetto finanziato nell'ambito del Piano di Sviluppo Rurale (PSR) 2014-2020 della Regione Campania (Tipologia d'intervento 16.5.1 - Azioni congiunte per la mitigazione dei cambiamenti climatici e l'adattamento ad essi e per pratiche ambientali in corso).

L'obiettivo prioritario del progetto RURAL è quello di sviluppare uno strumento di condivisione delle conoscenze e cooperazione che possa favorire l'accesso in maniera congiunta di vari imprenditori agricoli alle opportunità di finanziamento nell'ambito del PSR 2014-2020, dei programmi europei (LIFE+, Horizon 2020) o proposti nell'ambito della nuova Common Agricultural Policy (2021-2027) favorendo, al contempo, un più efficace e sinergico raggiungimento degli obiettivi ambientali e climatici in regione Campania. In particolare, il progetto si pone l'obiettivo di tutelare e valorizzare gli ecosistemi connessi all'agricoltura, incentivando l'attuazione di pratiche agricole biologiche e sostenibili per un aumento degli assorbimenti di carbonio, una maggiore protezione del suolo, una efficace tutela della biodiversità e una riduzione dei rischi geologico e idrologico.

Lo strumento che verrà sviluppato è rappresentato da una piattaforma (*ruralplus.it*).

Per l'analisi di dati climatici ad alta risoluzione, gli operatori agricoli regionali potranno utilizzare le funzionalità del servizio climatico CLIME attraverso la piattaforma web dataCLIME (<https://www.dataclime.com>).

La piattaforma supporterà gli operatori del settore tramite due livelli di informazione a differente scala e complessità:

-a scala regionale, tramite diversi modelli climatici, indipendenti tra loro, ad elevata risoluzione spaziale, saranno fornite informazioni circa le variazioni attese nei pattern di temperatura e precipitazione ed associata affidabilità (sulla base dell'accordo tra i diversi modelli sulla variazione stessa). In tal senso, le stime riguarderanno sia i valori medi (precipitazione stagionale, temperature medie, domanda evaporativa atmosferica) che regolano le diverse fasi della produzione stagionale sia i valori estremi ai quali sono spesso associati fenomeni (p.e. piogge intense, grandinate, ondate di calore, gelate tardive) in grado di minare parzialmente o totalmente sia le attività di lavorazione che la produzione stessa;

-a scala locale per l'area della Destra Sele, sarà quindi condotto uno studio di dettaglio in collaborazione con i ricercatori del CNR-ISAFOM; esso permetterà di stimare l'idoneità delle colture attualmente presenti nell'area al clima futuro (suitability) e di identificare quali possano essere quelle che meglio potranno adattarsi alle condizioni attese sulla base di una serie di indicatori e modelli semplificati largamente utilizzati negli studi di settore (e.g. *growing degree days*).

Su ambedue le scale spaziali, gli studi considereranno due finestre temporali sul breve e lungo periodo che permetteranno l'individuazione di azioni di adattamento opportune sui diversi orizzonti temporali da raggiungere anche per mezzo delle occasioni di finanziamento altresì riportate sulla piattaforma *ruralplus.it*.

## Materiali e Metodi

Il servizio climatico CLIME, sviluppato dalla divisione “Modelli regionali ed Impatti geo-idrologici” (REMHI) della Fondazione CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), è in grado di fornire, attraverso la sua piattaforma web [dataclime.com](http://dataclime.com) e la relativa compilazione di una richiesta dei dati climatici, soluzioni per diverse tipologie di utenti con diverse competenze ed esigenze. Il servizio CLIME permette di gestire l'intera catena di produzione delle informazioni: dalla collezione/archiviazione dei dati climatici, all'elaborazione degli stessi in base alle esigenze dell'utente. L'elaborazione dei dati climatici comprende tecniche di bias correction ed analisi climatiche a partire da proiezioni climatiche ad alta risoluzione. CLIME è anche in grado di fornire dati climatici a supporto di diversi studi di impatto (ad esempio inondazioni, siccità, frane, ondate di calore).

Nell'ambito del progetto RURAL, il servizio climatico CLIME verrà utilizzato come strumento di supporto per l'elaborazione di dati climatici. Tale servizio si presenta, in un contesto più ampio, come una piattaforma web interattiva destinata a diverse tipologie di utenti principalmente attivi nel campo dell'adattamento ai cambiamenti climatici. Nel caso di utenti che non hanno un background nel contesto del cambiamento climatico, come ad esempio gli operatori agricoli, CLIME si presenta come una “applicazione controllata” che consente di evitare un uso scorretto dei dati climatici e di ottenere dei risultati facilmente fruibili.

Per quanto riguarda i dati, il servizio CLIME è progettato per fornire analisi climatiche utilizzando sia le proiezioni climatiche ad alta risoluzione sviluppate dal CMCC sia quelle rese disponibili attraverso altri programmi e progetti. I dati simulati sono disponibili attualmente per tre scenari climatici dell'IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] di concentrazione di gas climalteranti (RCP, Representative Concentration Pathways): RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5. Il suffisso numerico rappresenta, come noto, l'incremento atteso nella forzante radiativa (in  $W/m^2$ ) al 2100 rispetto all'era preindustriale.

Nel servizio attualmente sono disponibili cinque variabili climatiche: temperatura massima, temperatura minima, temperatura media, precipitazioni e umidità relativa. Nello specifico, i dati storici simulati (historical experiment) sono disponibili per il periodo 1971-2005, mentre le simulazioni basate sugli scenari RCP sul periodo 2006-2100.

I principali punti di forza della piattaforma, il cui diagramma illustrativo viene riportato nella Figura 1, sono:

- Facile accesso ad enormi quantità di dati climatici;
- Analisi climatiche personalizzate su diverse scale temporali e spaziali;
- Diverse analisi statistiche: serie temporali, trend, indicatori utilizzati per l'analisi di eventi estremi, anomalie

climatiche, multi-model ensemble con relativa valutazione dell'incertezza;

- Visualizzazione chiara ed efficiente dei dati attraverso grafici temporali e statistici, mappe georeferenziate;
- Risultati delle analisi climatiche disponibili in formati diversi facilmente utilizzabili da altri software per ulteriori analisi;
- Documentazione per supportare gli utenti passo dopo passo.

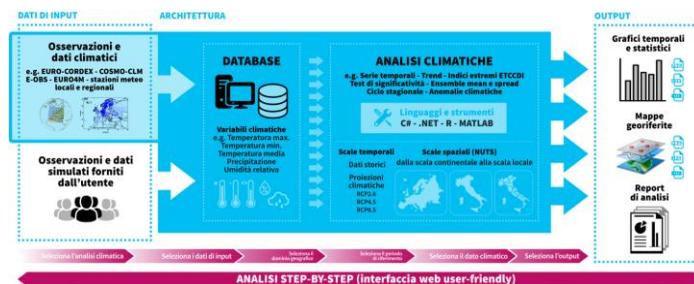


Fig.1 –Diagramma illustrativo del servizio climatico CLIME.

Fig.1 - Climatic service CLIME illustrative diagram

## Risultati e Discussione

I cambiamenti climatici rappresentano sicuramente una delle sfide più rilevanti su scala globale. L'aumento delle temperature, la riduzione delle precipitazioni e la maggior frequenza degli eventi estremi rappresentano i segnali climatici più evidenti che interessano l'area mediterranea. In particolare i settori socio-economici, come l'agricoltura sono direttamente dipendenti dalle condizioni climatiche e stanno già affrontando gli impatti dei cambiamenti climatici.

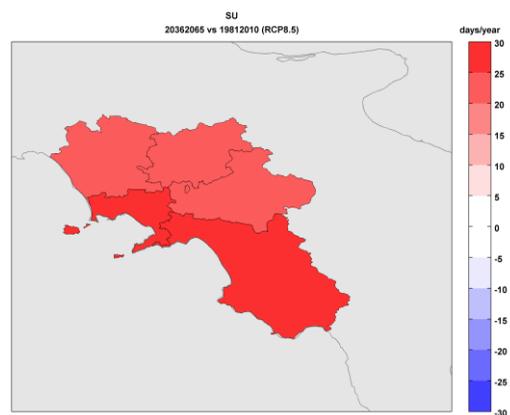
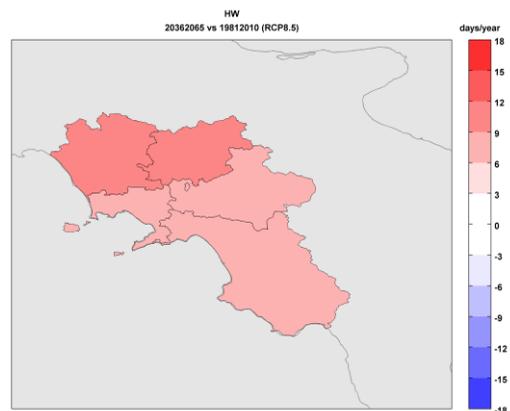
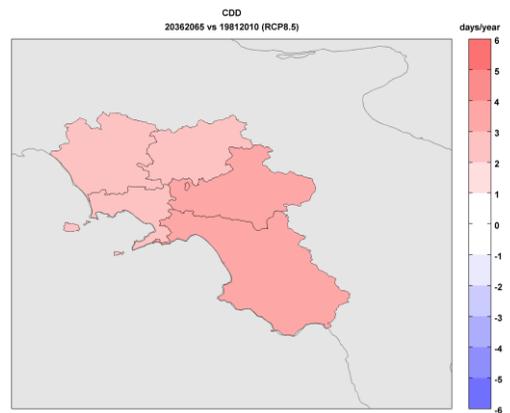
Secondo il report (Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente [SNPA], 2018), a livello nazionale per il settore agricoltura, gli impatti attuali/potenziati dei cambiamenti climatici sono una potenziale riduzione della produttività agricola soprattutto per il frumento, le colture frutticole e le orticole; inoltre le coltivazioni di ulivo, agrumi, vite e grano duro potrebbero diventare possibili solo nel nord dell'Italia, mentre nel Sud la coltivazione del mais potrebbe peggiorare e risentire ancor di più della scarsa disponibilità idrica.

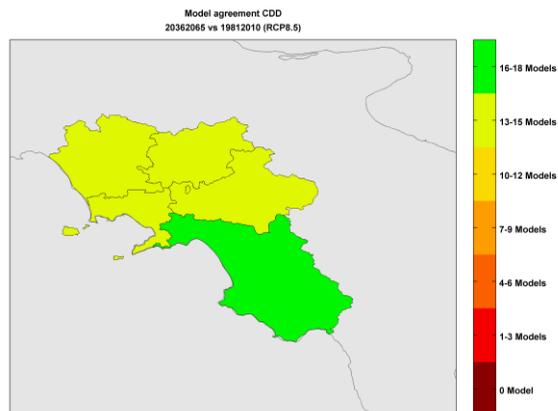
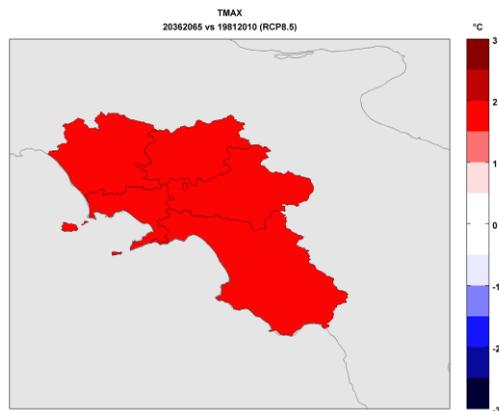
Per supportare la valutazione dei principali impatti che possono interessare il settore agricoltura, attraverso un set di indicatori climatici è possibile analizzare le principali caratteristiche degli eventi estremi. Gli indicatori climatici che descrivono principalmente l'intensità e la frequenza degli eventi estremi in termini di temperatura e di precipitazione, possono essere ottenuti a diverse scale (nazionale, regionale e locale) tramite il servizio CLIME.

Nella Figura 2 vengono presentate le anomalie delle variabili climatiche e degli indicatori di interesse per la valutazione degli impatti inerenti al settore agricoltura, considerando il periodo futuro 2036-2065 (centrato sul 2050) rispetto al periodo di riferimento 1981-2010 considerando le simulazioni EURO-CORDEX e lo scenario

RCP8.5 sulla Regione Campania. I risultati delle simulazioni EURO-CORDEX sono utilizzati in diversi lavori disponibili in letteratura e consentono di utilizzare un approccio multi-model con associata valutazione dell'incertezza (Jacob,2014), (Kotlarski, 2014).

I modelli climatici regionali consentono di aumentare la risoluzione spatio-temporale dei modelli di circolazione globale e di formulare scenari di cambiamento climatico più dettagliati, sebbene con un certo grado di incertezza. L'utilizzo di insiemi (ensemble) di proiezioni future da diversi modelli (multi-model ensemble), sebbene più oneroso dal punto di vista metodologico e computazionale, permette di effettuare una stima dell'incertezza da associare allo scenario di variazione della variabile o indicatore climatico di interesse. In Figura 3 viene riportato l'accordo tra modelli in termini di variazioni climatiche (noto come model agreement) per l'indicatore CDD (*numero massimo di giorni consecutivi all'anno con precipitazione minore di 1 mm*) e per l'indicatore HW (numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 35°C). Per il periodo futuro 2036-2065 si registra un buon accordo tra i modelli riguardo all'entità dell'aumento del numero massimo di giorni consecutivi all'anno con precipitazione minore di 1 mm. Per quanto riguarda, invece, gli indicatori calcolati a partire dalle temperature si registra per la regione Campania e per l'orizzonte temporale considerato un accordo in termini di variazioni climatiche attese da parte di tutti i modelli climatici selezionati.

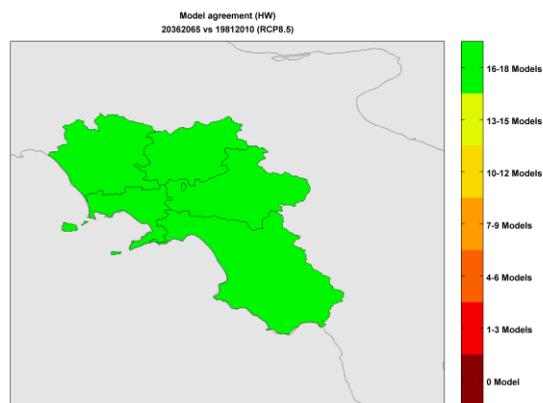




*Fig.2 – Mappe delle anomalie degli indicatori CDD (numero massimo di giorni consecutivi all'anno con precipitazione minore di 1 mm), HW (numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 35°C), SU (numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 25°C), TMAX per lo scenario RCP8.5 e il periodo futuro 2036-2065 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.*

*Fig.2 - Map of CDD indicators anomaly (maximum number of consecutive days per year with precipitation minor of 1 mm), HW (number of days per year with maximum daily temperature above 35 °C), SU (number of days per year with maximum daily temperature above 25 °C), TMAX for scenario RCP8.5 and future period 2036-2065 compared to period of reference 1981-2010.*

In generale a partire da osservazioni e da proiezioni climatiche attualmente disponibili è possibile fornire attraverso il servizio climatico CLIME agli utenti finali (come gli agricoltori) sia una caratterizzazione della variabilità climatica osservata sia una valutazione delle variazioni climatiche attese localmente per effetto dei cambiamenti climatici. Tale caratterizzazione, soprattutto in termini di indicatori estremi, risulta fondamentale per definire informazioni inerenti alle maggiori criticità del territorio di interesse.



*Fig.3 –Model agreement dell'indicatore CDD (numero massimo di giorni consecutivi all'anno con precipitazione minore di 1 mm) e dell'indicatore HW (numero di giorni all'anno con temperatura massima giornaliera maggiore di 35°C).*

*Fig.3 - Model agreement of CDD indicators (maximum number of consecutive days per year with precipitation minor of 1 mm) and HW indicator (number of days per year with maximum daily temperature above 35 °C).*

### Conclusioni

I servizi climatici, come CLIME, rappresentano degli strumenti utili per aiutare tutte le componenti della società (pubblica amministrazione, aziende private di diversi settori, ricercatori) a creare nuove soluzioni per fronteggiare gli effetti del cambiamento climatico. Per dare una risposta efficace, il servizio climatico CLIME cerca di basarsi sempre su un continuo scambio con i potenziali utenti e su funzionalità che vengono a valle di attività scientifiche aggiornate e fondate sullo Stato dell'Arte. Attraverso il servizio climatico CLIME e la piattaforma ruralplus.it si cerca di favorire un più efficace e sinergico raggiungimento degli obiettivi ambientali e climatici in regione Campania e di estendere poi tali risultati su una scala più ampia.

## **Bibliografia**

Jacob D., Petersen J., Eggert B., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Chang* 14:563–578.

Kotlarski S., Keuler K., Christensen O. B., et al, 2014. Regional climate modeling on European scales: A joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geosci Model Dev* 7:1297–1333.

SNPA, 2018. Introduzione agli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici: concetti chiave, indicatori candidati e criteri per la definizione di indicatori prioritari. Publisher: ISPRA, ISBN: 978-88-448-0892-1

# L'AGRICOLTURA ITALIANA HA BISOGNO DI UNA NUOVA STRUTTURA CONCETTUALE SULLA GESTIONE DEL RISCHIO CLIMATICO. IL RUOLO DELL'AGROMETEOROLOGIA

## ITALIAN AGRICULTURE NEEDS A NEW CONCEPTUAL STRUCTURE ABOUT THE MANAGEMENT OF CLIMATIC RISK. THE ROLE OF AGROMETEOROLOGY

Pontrandolfi Antonella<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente, via della Navicella 4 Roma  
<sup>\*</sup> antonella.pontrandolfi@crea.gov.it

### Abstract

Lo schema italiano di gestione del rischio in agricoltura ha diverse criticità, soprattutto rispetto all'impostazione concettuale nel contesto dei cambiamenti climatici. Diversi riferimenti concettuali e metodologici ormai accettati a livello internazionale non sono maturi nel settore agricolo italiano, né sulle valutazioni del rischio, né sulle strategie di gestione. Da ciò deriva la necessità di innovazione e di rafforzamento della ricerca sulle variabili fondamentali per le analisi (esposizione e vulnerabilità) disponendo di dati oggettivi, stime attendibili e indicatori di rischio adatti, ridisegnando le condizioni meteo-climatiche e gli eventi estremi, la loro distribuzione e intensità. Il presente contributo ripercorre le questioni da analizzare, quali possibili approcci metodologici adottare e i primi risultati degli studi effettuati dal CREA per definire le migliori azioni di gestione del rischio climatico.

### Parole chiave

rischio climatico, gestione del rischio in agricoltura, eventi estremi, valutazione del rischio

### Keywords

climatic risk, management of risk in agriculture, extreme events, risk assessment

### Introduzione

Nell'ultimo decennio il dibattito tecnico-scientifico e politico sul tema della gestione del rischio meteorologico in agricoltura sta vivendo momenti di grande discussione a livello internazionale, in relazione alla sempre maggiore rilevanza degli impatti dei cambiamenti climatici e la crescita nella frequenza di accadimento e nell'intensità degli eventi estremi (IPCC, 2012).

Nel settore agricolo italiano, in relazione all'eterogeneità delle produzioni e delle condizioni meteo-climatiche, la gestione del rischio meteorologico ha sempre assunto particolare rilevanza, e dagli anni '70 è attivo il Fondo di solidarietà nazionale per le calamità naturali in agricoltura (FSN), che ha previsto fondi compensativi e aiuti per le assicurazioni agevolate. Nel ciclo della Politica Agricola Comune (PAC) 2014-2020 sono state previste nelle politiche di sviluppo rurale misure specifiche (reg. (UE) n. 1305/2013).

Nonostante una certa evoluzione del sistema italiano, l'impostazione del sistema presenta delle importanti falle concettuali rispetto alle impostazioni più consolidate (OECD, 2009), che rischiano di minarne l'efficacia. Ciò vale in generale, in quanto si assiste ad un uso non sempre adeguato della terminologia scientifica parlando di rischio e delle metodologie di *risk assessment*, anche nelle politiche di settore. Le questioni climatiche che hanno portato l'IPCC a parlare di necessaria transizione al concetto di *climate-related risk* (IPCC, 2012) nel settore agricolo italiano non sono introiettate (Pontrandolfi et al., 2016). Il riferimento più vicino, il Piano nazionale di adattamento ai

cambiamenti climatici (CMCC, 2017), in corso di approvazione in Italia, risulta veramente poco conosciuto dal mondo agricolo.

Il presente contributo, quindi, intende partecipare al dibattito tecnico-scientifico per favorire una diversa cultura del rischio meteo e climatico in agricoltura, una più corretta impostazione metodologica che aiuti a migliorare l'efficacia degli strumenti di gestione. Si intende fornire spunti di riflessione soprattutto sul ruolo centrale dell'agro-meteo-climatologia nella gestione del rischio, sui possibili approcci metodologici, e suggerire approfondimenti per sviluppi futuri della ricerca nel settore. Per le considerazioni qui espresse, il contributo parte da una ritenuta necessaria premessa sulla definizione di rischio e sugli approcci metodologici a oggi più consolidati evidenziando gli aspetti su cui il sistema italiano potrebbe migliorare. Si propone, poi, una disamina degli studi condotti dal CREA-AA sul tema specifico e un richiamo sui vari aspetti per cui l'agrometeorologia ha un ruolo chiave nel sistema.

### Materiali e metodi

#### Struttura concettuale della gestione del rischio

Secondo la comune accezione, il rischio è una componente propria dell'attività di impresa associata alle aspettative di risultato, che possono essere disattese a causa di eventi non prevedibili. Pur nella diversità di approcci e metodologie di analisi e valutazione, si possono delineare alcuni assunti generali comunemente accettati sul rischio (OECD, 2009),

riportati alla realtà agricola italiana (Pontrandolfi e Nizza, 2012), di seguito illustrati:

a) il **rischio** non è associato, come spesso capita di sentire, a valori “fuori media”, ma a valori inattesi rispetto a un pattern di comportamento conosciuto (distribuzione dei valori attesi). Questo aspetto è importante soprattutto rispetto ai CC, poiché vanno a modificare il comportamento di alcune variabili, quali temperature e precipitazioni, che determinano parte del rischio meteorologico.

b) i **fattori chiave** che determinano il rischio sono: la probabilità che un fenomeno accada nel tempo e nello spazio; l’esposizione di un sistema all’evento; la vulnerabilità, cioè il grado di predisposizione del sistema ad avere/sopportare le conseguenze (danni). La vulnerabilità dipende dalle caratteristiche del sistema, non degli eventi, infatti può essere alta anche in presenza di eventi non estremi statisticamente a seconda delle caratteristiche delle produzioni, delle aziende agricole e del territorio.

Spesso si associa erroneamente il rischio alla frequenza degli eventi o ai soli danni prodotti, mentre il rischio è la funzione derivata dai rapporti tra queste (e altre) variabili. Rispetto alla funzione, si identificano nelle curve di rischio tipicamente aree di:

- alta frequenza evento/bassa intensità danno
- media frequenza evento/media intensità danno
- bassa frequenza evento/alta intensità danno.

I CC modificano le curve di rischio di alcuni eventi in agricoltura, soprattutto nelle prime due aree (IPCC, 2012).

c) la **pianificazione** è il processo di gestione del rischio e, schematicamente, necessita delle seguenti fasi: identificazione (quali rischi, con quali conseguenze e con quali priorità; in agricoltura, tipicamente il rischio meteorologico); valutazione del rischio (*risk assessment*); definizione delle strategie di controllo del rischio; scelta degli strumenti; definizione delle politiche da associare.

La fase più delicata e complessa del processo è senz’altro la **valutazione del rischio**, in quanto comporta la stima di un valore del rischio, con la quantificazione delle variabili, nonché l’analisi della funzione che le lega. Risulta molto ampia la letteratura in materia di metodologie di stima del rischio, ma la base comune resta la funzione che si genera dalla correlazione delle variabili suddette, quindi la distribuzione del rischio. Generalmente sono adottate misure con oggetto la varianza, la deviazione standard o un percentile della curva.

La fase successiva, la definizione delle **strategie di controllo** del rischio, in letteratura, è tipicamente associata alle aree della curva di rischio: a) per il livello di alta frequenza/bassa gravità del danno, strategia di riduzione del rischio (riduzione dell’esposizione e della vulnerabilità), maggiormente orientate all’adattamento strutturale e gestionale; b) per il livello di media frequenza/media gravità del danno, strategia comunemente considerata più adatta è il trasferimento (tipicamente, le assicurazioni; si

parla di area di “assicurabilità” dei rischi); c) per il livello di bassa frequenza/alta gravità del danno (cosiddetto rischio catastrofico), prevale la strategia di accettazione, con strumenti orientati alla compensazione dei danni. La definizione di “gestione del rischio”, quindi, comprende la componente riduzione del rischio, non solo, come spesso si intende, la gestione della calamità post evento (strategie di trasferimento e accettazione).

### **Approccio dell’attuale sistema di gestione del rischio**

La programmazione della gestione del rischio è a carico del delle politiche di sviluppo rurale (reg. (UE) n. 1305/2013) e attuata in Italia a livello nazionale con una misura nel Programma Sviluppo Rurale Nazionale (assicurazioni e fondi mutualistici, collegata al Piano assicurativo nazionale) e a livello regionale con la Misura 5 dei programmi di sviluppo rurale regionali (PSR) “Ripristino del potenziale produttivo agricolo danneggiato da calamità naturali e da eventi catastrofici e introduzione di adeguate misure di prevenzione”.

Rispetto al quadro concettuale sul rischio prima descritto, così organizzato il sistema italiano è molto carente, con la pianificazione non attuata nelle prime fasi, ma solo nelle ultime. Nelle valutazioni ex ante a livello nazionale e regionale non vi è alcun *risk assessment* (Mipaaf, 2014, [www.reteruralenazionale.it](http://www.reteruralenazionale.it)) e le analisi agrometeorologiche sono utilizzate solo per giustificare i risarcimenti e i fondi compensativi post evento. Inoltre, si ha la concentrazione di tutti i livelli di rischio sulla unica strategia di trasferimento e (molto meno) dell’accettazione (fondi compensativi del FSN), che agiscono sul post calamità. La strategia di riduzione del rischio è praticamente inesistente e la Misura 5 dei PSR ad oggi, rispetto ai dati disponibili, risulta attivata in alcune regioni e quasi solo sul post calamità (ripristino). Manca una visione organica del problema, eppure tante misure dei PSR regionali, se ben indirizzate, potrebbero concorrere alla riduzione. Vi sono possibili azioni: strutturali, quali miglioramento e ammodernamento delle strutture, soprattutto tecnologico, a livello aziendale e territoriale, sistemi per irrigazione di soccorso, manutenzione degli scoli, casse di espansione, impianti moderni e più efficienti per refrigeramento-riscaldamento delle stalle, ecc.; azioni gestionali, quali strumenti di supporto alle decisioni e sistemi informativi per riprogrammare le pratiche in caso di siccità, alluvioni, frane, modelli innovativi di pianificazione e programmazione aziendale, modernizzazione della gestione. Ma ciò presupporrebbe un *risk assessment* nelle aree agricole, individuando esposizioni e vulnerabilità e a quali tipologie di eventi, per poi indirizzare meglio le misure. A questo proposito, si cita uno studio condotto sulle principali direzioni in cui gli agricoltori italiani si muovono per affrontare il rischio, riferito al periodo 2003-2012 (Pontrandolfi et al., 2016b). Emerge che l’approccio aziendale appare ancora fortemente orientato alla preferenza di mezzi tecnici (pratiche agricole, pesticidi, fertilizzanti e irrigazione), piuttosto che altri strumenti disponibili (assicurazioni, accesso al credito, risparmio,

consulenza, innovazione, ecc.). Questo vale soprattutto per le imprese medio-piccole, le più rappresentate nel nostro Paese, dando un segnale di poca informazione e di “sfiducia” al sistema di gestione del rischio in uso.

### Un nuovo framework concettuale per il rischio climatico

Nel contesto dei CC, l’approccio pianificatorio e integrato prima illustrato risulta ancora più dirimente. Negli ultimi decenni, si assiste ad un rapido aumento dell’incertezza delle condizioni ambientali che influenzano direttamente la produzione agricola. Il settore primario è, in effetti, il più esposto e vulnerabile ai CC, con proiezioni correnti che includono: aumento delle temperature medie, modifica dei pattern delle precipitazioni, aumento dei fenomeni meteorologici estremi che portano a calamità (IPCC, 2012). L’incidenza dei cambiamenti sulle produzioni agricole è un fattore determinante che va considerato nei processi di gestione del rischio in agricoltura, per due motivazioni fondamentali: modificherà (sta modificando) il comportamento delle principali variabili che incidono sulle produzioni (fig.1); tendenzialmente, ci si attende un aumento generale dei livelli di rischio, una intensificazione delle incertezze e delle incognite sul comportamento dei principali parametri di riferimento (temperature, precipitazioni, rese, qualità organolettiche dei prodotti)

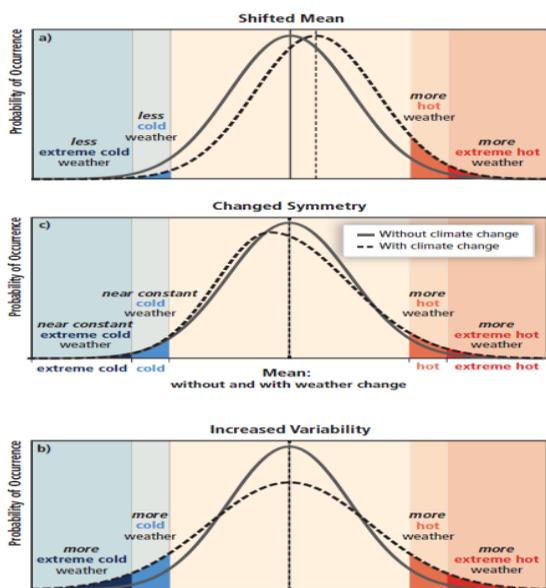


Fig.1- Schema sugli effetti dei CC sui pattern di eventi estremi

Fig.1- Scheme of CC effects on extreme events patterns

Fonte: IPCC, 2012

Non a caso, uno *special report* è stato dedicato dall’IPCC al *risk management* introducendo il concetto di rischio “climatico”, inteso come rischio derivante dai nuovi assetti dovuti ai CC (IPCC, 2012). L’introduzione del concetto di *climate extremes*, in particolare, è importante per l’analisi del rischio perché l’aumento degli estremi climatici probabilmente porterà ad un aumento delle “calamità”

(Alexander, 2016), definite come gravi alterazioni nel normale funzionamento dei sistemi produttivi umani in condizioni vulnerabili. In base a tali considerazioni, la gestione del rischio assume una rilevanza strategica nella gestione aziendale e, in alcuni casi, un fattore decisivo per la sopravvivenza stessa delle aziende nel contesto dei CC.

Quindi, l’impostazione concettuale e le analisi sul rischio meteorologico si mantengono nel passaggio al “climatico”, ma si impone la necessità di aggiornare le analisi e di prevedere anche l’aggiunta di scenari di CC a medio-lungo termine. In effetti, un approccio parziale come quello dello schema italiano non risponde a domande fondamentali quali: in che area della curva si inseriscono oggi e in previsione futura gli eventi che portano a calamità? Sono eventi statisticamente estremi? Gli strumenti di accettazione attualmente usati coprono rischi definibili come catastrofici?

### Risultati

#### I risultati di alcuni primi studi

La ricerca delle migliori metodologie di analisi diventa, quindi, un requisito di base per una migliore gestione del rischio in agricoltura. È fondamentale disporre di dati oggettivi, stime attendibili e indicatori di rischio adatti, ridisegnando le condizioni meteo-climatiche e gli eventi estremi, la loro distribuzione e intensità nelle aree e nei sistemi agricoli.

In questo contesto, sono stati svolti alcuni primi studi specifici per le aree agricole italiane, incentrati al momento sulla definizione degli indicatori di esposizione e vulnerabilità delle aree agricole.

Sono stati svolti dei primi studi dall’ex-INEA in materia, ora trasferiti come competenza nel Centro Agricoltura e Ambiente del CREA (CREA-AA). Con finanziamento del Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali tra il 2010 e il 2016, è stato realizzato un geodatabase contenente dati storici sulle calamità in agricoltura. Sono state raccolte le informazioni contenute nei decreti di riconoscimento dello stato di calamità naturale (eventi e danni associati oggetto di fondi compensativi), in accordo con il decreto legislativo n. 102/04 sul Fondo di solidarietà per le calamità naturali in agricoltura. I decreti riportano la data e il tipo di evento (siccità, ondate di calore, grandine, piogge alluvionali, piogge persistenti, gelate, forti venti, ecc.), il periodo di occorrenza (numero di giorni), i comuni e la relativa SAU coinvolti (o le intere province), i danni economici riconosciuti.

Le prime analisi condotte su tali dati per il periodo 2003-2012 riguardano soprattutto la valutazione preliminare dei possibili indicatori di esposizione e vulnerabilità specifici per le aree agricole (Pontrandolfi et al., 2016a). In particolare, usando come unità territoriale la provincia, per l’esposizione si è considerata la distribuzione spaziale e temporale degli eventi negli ultimi 10 anni in numero di giorni o numero di eventi (dipende dal tipo di evento). Per la vulnerabilità, si è considerato il danno economico causato in relazione alla SAU coinvolta (€/SAU), calcolato

per ogni anno del periodo 2003-2012 ed elaborato come valore medio del periodo. Ulteriori elaborazioni sono state fatte distinguendo i danni su produzioni, strutture aziendali e infrastrutture connesse all'agricoltura. Nelle figure 2 e 3 si evidenziano alcuni risultati sintetici su siccità e piogge alluvionali. I dati totali mostrano che il 77% dei danni sono sulle produzioni (62% causati dalla siccità e il 14% dalla grandine), in deroga, quindi, ai Piani assicurativi, che coprono gran parte delle produzioni. Il 48% dei danni complessivi sono dovuti a eventi siccitosi, quasi interamente sulle produzioni, ma con danni anche sulle strutture (in gran parte sistemi di irrigazione e canali) e il 13% alla grandine. Inoltre, il 20% del danno totale riconosciuto è dovuto a eventi estremi di pioggia e di natura alluvionale, che hanno causato il 50% dei danni sulle strutture aziendali e il 90% dei danni sulle infrastrutture. Rispetto alle elaborazioni, una prima considerazione riguarda la loro capacità informativa. Con tutti i loro limiti, legati soprattutto all'assenza di variabili puramente agrometeorologiche per l'esposizione, riescono comunque a fornire un quadro informativo più adeguato nelle diverse realtà agricole del Paese. Ad esempio, l'esposizione alla siccità e alle piogge alluvionali del territorio italiano risulta tale nel tempo e nello spazio da porre la necessità impellente di rivedere il quadro climatico di riferimento, poiché tecnicamente questi eventi avversi appaiono sempre meno di natura eccezionale. Inoltre, la vulnerabilità non corrisponde linearmente all'esposizione, soprattutto se si distinguono produzioni, strutture e infrastrutture, il che conferma la presenza di più fattori che incidono sulla vulnerabilità, non solo la frequenza degli eventi (ad es. presenza di sistemi di irrigazione e drenaggio) e la necessità di valutare il rischio nel suo più corretto alveo concettuale (funzione di più variabili). Da questo punto di vista, sembra utile approfondire metodologie di analisi con approccio multivariato. Inoltre, le informazioni sulle calamità utili per la stima della vulnerabilità necessitano di essere implementate con i dati più di dettaglio sulla tipologia di danno, le colture e i sistemi produttivi.

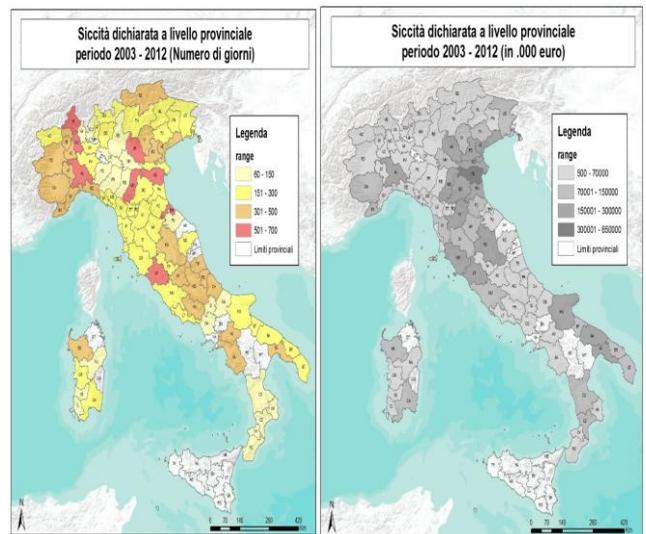


Fig.2 – Esposizione e vulnerabilità alla siccità su dati 2003-2012

Fig.2 - Exposition and vulnerability to drought on 2003-2012 data

Fonte: Pontrandolfi et al., 2016a

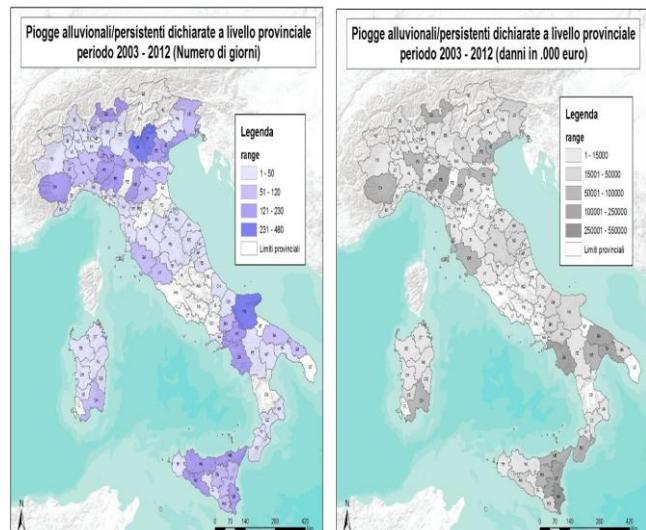


Fig.3 – Esposizione e vulnerabilità alle piogge alluvionali su dati 2003-2012

Fig.3 - Exposition and vulnerability to torrential rainfall on 2003-2012 data

Fonte: Pontrandolfi et al., 2016a

## Il ruolo dell'agrometeorologia nella gestione del rischio climatico

Nel quadro concettuale della gestione del rischio climatico in agricoltura, da quanto esposto sinora non vi è dubbio alcuno che l'agrometeorologia non solo ha un ruolo fondamentale, ma costituisce la base stessa di partenza e, da alcuni punti di vista, di arrivo del sistema.

La pianificazione del rischio non può prescindere dall'analisi delle condizioni meteo-climatiche e degli eventi estremi, sia nella fase di *risk assessment*, sia nella scelta

delle strategie di controllo, sia nelle azioni da intraprendere per ridurre il rischio.

A valle del sistema, ad esempio, l'agrometeorologia può fornire supporto alle decisioni aumentando la consapevolezza delle aziende del proprio livello di rischio, ma anche direttamente con sistemi di *early warning* nelle aziende agricole, associando livelli di rischio e analisi previsionali, supportando la programmazione delle pratiche agricole.

Le prime analisi svolte prima illustrate, in effetti, mostrano dei limiti metodologici, in corso di approfondimento nel CREA-AA. Non si ritiene sufficiente l'analisi dell'esposizione agli eventi partendo dai dati sulle calamità dichiarate. L'analisi va irrobustita con indicatori agrometeorologici adeguati agli eventi estremi in agricoltura, per meglio definire l'esposizione e quindi le curve di rischio. In tal senso, si stanno valutando le banche dati disponibili più adeguate e analizzando gli indicatori più comunemente usati per gli eventi estremi (ETCCDMI). Sono in corso alcune prime elaborazioni e analisi statistiche di correlazione con l'indice SPEI per la siccità.

Un filone di ricerca in fase di sviluppo che potrebbe dare un importante contributo alla gestione del rischio in agricoltura è quello della modellistica di simulazione con modelli specifici sugli eventi estremi e per coltura. Il vantaggio si avrebbe con l'introduzione di scenari a breve, medio e lungo termine nel contesto dei CC.

In sostanza, un maggiore e più corretto coinvolgimento dell'agrometeorologia nella gestione del rischio migliorerebbe diverse lacune nella ricerca e nel supporto tecnico alle decisioni, tra cui fondamentalmente:

- analisi di rischio climatico (parametri, base dati, indici di rischio, valutazione del rischio), in particolare l'analisi di esposizione;
- strumenti di analisi previsionale a supporto delle decisioni e di simulazioni di scenario a lungo termine;
- supporto agli agricoltori per le scelte di investimento per la riduzione del proprio livello di rischio (azioni informative/formative, strutturali e gestionali);
- l'innovazione degli strumenti economico-finanziari in uso (assicurazioni) per renderli più efficaci anche da punto di vista tecnico-economico, attraverso una più corretta pianificazione.

## Conclusioni

L'analisi dello schema italiano di gestione del rischio in agricoltura evidenzia delle criticità in termini di impostazione concettuale sul rischio e di fabbisogno maggiore di conoscenza con definizioni e analisi riviste nel contesto dei cambiamenti climatici. La scarsa pianificazione, in particolare la fase di *risk assessment*, del sistema italiano ne minano l'efficacia. In particolare, la valutazione dell'esposizione al rischio è carente di analisi e indicatori agro-meteo-climatici, passo, invece, fondamentale per stabilire, con criteri e basi conoscitive quanto più oggettivi possibile, i livelli di rischio e quali strategie adottare, se di riduzione, trasferimento o accettazione del rischio.

Maggiori elementi di conoscenza potranno supportare gli sforzi di innovazione sia nelle aziende agricole sia nelle politiche di sostegno (PAC nel ciclo post 2020), ai fini della riduzione del rischio e del miglioramento della gestione delle calamità. Le azioni potranno essere di varia natura, tutte supportate da una buona base di analisi agro-meteo-climatiche.

Alcuni studi sono stati avviati per approfondire questi aspetti e gli obiettivi per il futuro sono:

- migliorare le metodologie di analisi con opportuni indicatori di esposizione e di vulnerabilità;
- valutazione di rischio climatico per areali, colture di maggiore interesse per l'agricoltura italiana e per caratteristiche aziendali.

## References

Alexander L., 2016. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes*, 11: 4-16

CMCC - Centro Euro-mediterraneo per i cambiamenti climatici, 2017. Supporto tecnico-scientifico per il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ai fini dell'Elaborazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC).

[https://www.minambiente.it/sites/default/...climatici/documento\\_pnacc\\_luglio\\_2017.pdf](https://www.minambiente.it/sites/default/...climatici/documento_pnacc_luglio_2017.pdf)

ETCCDI - CCI/WCRP/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices.

[http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change, 2013. *Climate change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Mipaaf - Ministero delle politiche agricole alimentari, forestali e del turismo, 2014. *Valutazione Ex-Ante del Programma Nazionale di Sviluppo Rurale 2014-2020* Luglio 2014.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development, 2009. *Managing Risk in Agriculture: A Holistic Approach*. OECD Paris. ISBN-13: 978-9264075306

Pontrandolfi A. & Nizza G., 2012. Perspectives on risk management as climate change adaptation measure in Italian agriculture. Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop. FAO Roma: 317-326.

Pontrandolfi A., Capitanio F., Pepe A.G., 2016a. Vulnerability of agricultural areas to climatic risk and effectiveness of risk management policy scheme in Italy. *International Journal of Safety and Security Engineering* 6(2): 150-160

Pontrandolfi A., Capitanio F., Adinolfi F., Goodwin B., 2016b. Analysis of the Factors used by Farmers to Manage Risk. A Case Study on Italian Farms. *American Journal of Applied Sciences* Volume 13 Issue 4: 408-419

# VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI DI CO<sub>2</sub> E CH<sub>4</sub> DA TAPPETI ERBOSI: CONFRONTO FRA FESTUCA ARUNDINACEA E CYNODON DACTYLON A DIFFERENTI LIVELLI DI CONCIMAZIONE AZOTATA CARBON DIOXIDE AND METHANE EMISSIONS BY TURFGRASSES: A COMPARISON BETWEEN TALL FESCUE AND BERMUDAGRASS UNDER DIFFERENT NITROGEN RATES

Leonardo Verdi<sup>1\*</sup>, Giada Brandani<sup>1</sup>, Ada Baldi<sup>1</sup>, Marco Mancini<sup>1</sup>, Anna Dalla Marta<sup>1</sup>, Lisa Caturegli<sup>2</sup>, Simone Orlandini<sup>1</sup>, Marco Volterrani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze – Piazzale delle Cascine 18, 50144, Firenze

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DISAAA-a), Università di Pisa, Via del Borghetto 80, 56124 Pisa

\* leonardo.verdi@unifi.it

## Abstract

The continuous urbanization is resulting in turf's development due to the replacement of natural and agricultural lands with turfgrass. Development of turfs increases the C storage potential in urban area; however, it may represent a factor of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emission. The aim of this experiment was the evaluation of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions from *tall fescue* and *bermudagrass* at different N rate (0-50-150 kg N ha<sup>-1</sup>). A strong correlation between N fertilization and CO<sub>2</sub> emissions from both species was observed. Conversely, no correlation between N fertilization and CH<sub>4</sub> emissions was observed. *Tall fescue* shown significantly higher CO<sub>2</sub> emissions in N-rich treatment (150 kg N ha<sup>-1</sup>) than the others. On the contrary, *bermudagrass* shown to be more reactive to fertilization with significantly higher CO<sub>2</sub> emissions between 50 and 150 kg N ha<sup>-1</sup> than control. Therefore, N rate and turf species represents key factor that have to be take into account for a sustainable management of urban green areas.

## Parole chiave

Gas serra; Impatti ambientali; Verde urbano; Gestione sostenibile

## Keywords

Greenhouse gases; Environmental impacts; Urban green areas; Sustainable management

## Introduzione

Dalla metà del secolo scorso circa il 35% delle emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) prodotte dall'attività umana, sono state associate ai cambiamenti di uso del suolo (Houghton and Hackler, 2001). In questo senso, il processo di urbanizzazione presenta notevoli implicazioni sui cambiamenti di uso del suolo, anche in considerazione del fatto che le aree urbane e periurbane si espanderanno più velocemente di qualsiasi altro tipo di utilizzo del suolo (Antrop 2000; Brown et al. 2005; Hansen et al. 2005; Patra et al., 2018). Indubbiamente questo sviluppo accompagnerà l'aumento della popolazione mondiale che si stima supererà i 9 miliardi di persone entro il 2050 (United Nations, 2014). Per questi motivi, sempre maggiore attenzione viene dedicata allo studio delle strategie di utilizzo del suolo in ambiente urbano. I tappeti erbosi, grazie al loro elevato valore ambientale, ricreativo, estetico e sociale, rappresentano la principale strategia di utilizzo degli spazi verdi in ambiente urbano (Qian et al., 2012) andando a ricoprire una superficie di più di 16 milioni di ettari negli USA (Milesi et al., 2005) e circa il 70% degli spazi verdi urbani mondiali (Ignatieva et al., 2015). In questo senso, la presenza delle aree verdi aumenta il potenziale di stoccaggio del C atmosferico in ambiente urbano (Jo and McPherson, 1995; Jo, 2002; Nowak and Crane, 2002) ed è stato osservato come questo potenziale di stoccaggio del C

atmosferico è fortemente influenzato dalla specie e dall'età del tappeto erboso e, in linea generale, cresce all'aumentare dell'intensità con cui il tappeto è gestito (Selhorst and Lal, 2013). Tuttavia, Groffman and Pouyat (2009), hanno osservato che il continuo sviluppo dei tappeti erbosi possa rappresentare un potenziale fattore di emissioni di CO<sub>2</sub> e metano (CH<sub>4</sub>). In questo senso, Shchepeleva et al. (2017) hanno osservato come all'interno della città di Mosca, la quantità di C stoccato dalla biomassa dei tappeti erbosi urbani non era sufficiente a compensare le emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte da questi ultimi. Hamido et al. (2016) afferma che le emissioni di CO<sub>2</sub> possono variare da 292 a 394 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> giorno<sup>-1</sup> in base alla dose di azoto (N) distribuito. Per quanto riguarda le emissioni di CH<sub>4</sub>, attualmente il dibattito è ancora aperto dato che sono stati osservati risultati contrastanti. In particolare, Groffman and Pouyat (2009) affermano che le emissioni di CH<sub>4</sub> che si originano dalle aree verdi urbane sono trascurabili. Al contrario, Selhorst and Lal (2013) hanno osservato come questo tipo di emissioni sono fortemente influenzate dal tasso di decomposizione della biomassa. In linea generale, le emissioni di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> da suolo sono influenzate da numerosi fattori quali l'attività microbica, la respirazione radicale, la tessitura del suolo, la temperatura, l'umidità e il pH (Ludwig et al., 2001; Rastogi et al., 2002; Groffman and Pouyat 2009). Tuttavia, Zhang et al. (2013) affermano che

la gestione rappresenta un fattore fondamentale capace di influenzare le dinamiche di emissioni del C all'interno del sistema suolo-atmosfera. In questo senso, i tappeti erbosi urbani evidenziano un elevato livello di gestione che include frequenti sfalci, irrigazioni e concimazioni (Zhang et al., 2013). In considerazione del fatto che le aree verdi urbane hanno conosciuto un rapido sviluppo solo negli ultimi anni, allo stato attuale le dinamiche di emissioni da questi sistemi non sono state studiate a fondo come gli ambienti forestali e agrari di pieno campo (Jo and McPherson, 1995, Pouyat et al., 2002, Pouyat et al., 2006, Townsend-Small and Czimczik, 2010). In questo senso, l'obiettivo di questo studio è stato quello di valutare il contributo in termini di emissioni di gas serra da parte delle aree verdi urbane. A tale scopo, sono stati valutati i flussi di emissioni di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> da due tappeti erbosi maturi di *Festuca arundinacea* e *Cynodon dactylon* a diversi livelli di fertilizzazione azotata.

### Materiali e Metodi

La prova è stata organizzata presso i terreni del Centro Ricerche Tappeti Erbosi Sportivi (CeRTES) del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DISAAA-a) dell'Università di Pisa, S. Piero a Grado, Pisa (43°40'N, 10° 19'E, 6 m. s.l.m.) su due tappeti erbosi maturi di *Festuca arundinacea* (*Schedonorus phoenix* [Scop.] Holub) cv 'Grande' e *Cynodon dactylon* (*Cynodon dactylon* [L.] Pers. var. *dactylon* x *Cynodon transvaalensis* Burt-Davy) cv 'Patriot'. La prova è stata svolta su di un terreno franco-limoso con una dotazione di sostanza organica di 18 g kg<sup>-1</sup> con un pH di 7.8. In particolare, la prova è stata svolta su 18 parcelle sperimentali di 1 m x 1 m con tre differenti livelli di concimazione e tre repliche per ogni specie. La concimazione è stata svolta utilizzando solfato di ammonio a tre differenti livelli: 0 kg N ha<sup>-1</sup> (Controllo), 50 kg N ha<sup>-1</sup> (N1, dose generalmente utilizzata nella gestione dei tappeti erbosi) e 150 kg N ha<sup>-1</sup> (N2). La fertilizzazione è stata svolta all'inizio della sperimentazione (7 maggio 2018) mediante l'utilizzo di uno spandiconcime centrifugo (ICL Specialty Fertilizers AccuPro 2000, Ipswich, UK). Lo sfalcio (John Deere 20SR7, Moline IL, USA) è stato svolto settimanalmente con un'altezza di taglio di 2.0 cm con rimozione del clipping. Tramite un sistema di irrigatori per aspersione è stata svolta l'irrigazione di soccorso, quando necessaria, per prevenire stress da siccità.

Per il monitoraggio del flusso di emissioni di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> sono state utilizzate 18 camere statiche cilindriche chiuse in PVC (Parkin and Venterea, 2010) con superficie di 314 cm<sup>2</sup> e volume 9420 cm<sup>3</sup>. Ogni camera è stata dotata di un sistema di supporto cilindrico in PVC di 200 mm di diametro e 15 cm di altezza che è stato inserito per circa 10 cm nel suolo. Ogni singola camera è stata ricoperta di uno strato di nastro adesivo di alluminio per ridurre al massimo l'influenza della radiazione solare sulla temperatura all'interno della camera. Inoltre, nella parte superiore di ogni camera, in corrispondenza di un foro di 13.2 mm di diametro, è stato inserito un tappo in gomma butilica per lo svolgimento delle operazioni di campionamento del gas

accumulato all'interno della camera. Il campionamento dei gas è stato svolto tramite un analizzatore di gas portatile (Madur Sensonic X-CGM 400, Zgierz, PL) che sfrutta la tecnologia infrarossa (Non-dispersive Infrared Technology) per l'analisi delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Le misure sono state svolte inserendo un ago, posto all'estremità di un tubo di campionamento collegato all'XCGM 400, per 1 minuto all'interno della camera. Le misure sono state svolte immediatamente dopo la chiusura della camera (T0) e 60 minuti dopo la chiusura della camera (T1) sul campione di gas accumulato. La differenza della concentrazione dei gas tra T1 e T0 ha rappresentato il dato di emissioni di ogni gas che è stato utilizzato all'interno di un'equazione per il calcolo dei flussi. Le misure sono state svolte a metà mattina in condizioni di temperatura il più simili possibili alle medie giornaliere (Parkin and Venterea, 2010). La prova è stata portata avanti per un periodo di 37 settimane dal 7 maggio del 2018 (DOY 127) fino al 17 settembre 2018 (DOY 260) in modo da valutare il trend di emissioni su tutta la stagione vegetativa della specie macroterma (*Cynodon*). Sono state svolte 13 misurazioni durante la sperimentazione e per il calcolo dei dati delle giornate in cui non sono state svolte misurazioni è stata utilizzata l'interpolazione. Infine, i dati di temperatura (minima, massima e media) e precipitazioni sono stati misurati attraverso una stazione meteo del Servizio Regionale Idrologico della Toscana situata in prossimità del campo sperimentale (Fig. 1).

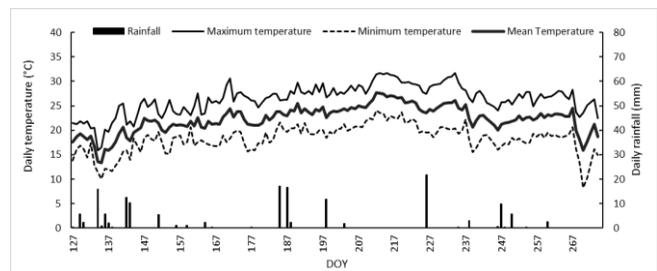


Figura 1. Trend delle temperature massima, minima e media e piovosità durante il periodo di misura (DOY 127 – DOY 260).

Figure 1. Maximum, minimum and mean temperatures trend and rainfall during monitoring period (DOY 127 – DOY 260).

## Risultati e Discussioni

Tabella 1. Produzioni cumulate di emissioni di C ( $\text{kg C ha}^{-1}$ ) di anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) durante il periodo di misurazioni (DOY 127 – DOY 260) per *Festuca* e *Cynodon* a differenti livelli di concimazione azotata.

Table 1. Total amount of C emission ( $\text{kg C ha}^{-1}$ ) in terms of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) at the end of the monitoring period (DOY 127- DOY 260) for tall fescue and bermudagrass at different fertilization rates.

	$\text{kg CO}_2\text{-C ha}^{-1}$	
	<i>Festuca</i>	<i>Cynodon</i>
Controllo	4472.60 b ( $\pm 1080.06$ )	5245.66 b ( $\pm 596.10$ )
N1	5223.74 b ( $\pm 806.80$ )	7137.06 a ( $\pm 649.51$ )
N2	7901.83 a ( $\pm 599.37$ )	7576.04 a ( $\pm 1149.58$ )

I valori sulla stessa colonna seguiti da lettere diverse sono significativamente diversi ( $p \leq 0.05$ )

Tabella 2. Produzioni cumulate di emissioni di C ( $\text{kg C ha}^{-1}$ ) di metano ( $\text{CH}_4$ ) durante il periodo di misurazioni (DOY 127 – DOY 260) per *Festuca* e *Cynodon* a differenti livelli di concimazione azotata.

Table 2. Total amount of C emission ( $\text{kg C ha}^{-1}$ ) in terms of methane ( $\text{CH}_4$ ) at the end of the monitoring period (DOY 127- DOY 260) for tall fescue and bermudagrass at different fertilization rates.

	$\text{kg CH}_4\text{-C ha}^{-1}$	
	<i>Festuca</i>	<i>Cynodon</i>
Controllo	18.64 a ( $\pm 2.84$ )	15.69 a ( $\pm 3.53$ )
N1	18.55 a ( $\pm 1.33$ )	21.24 a ( $\pm 5.44$ )
N2	18.95 a ( $\pm 1.95$ )	14.32 a ( $\pm 1.56$ )

I valori sulla stessa colonna seguiti da lettere diverse sono significativamente diversi ( $p \leq 0.05$ )

Per quanto riguarda le emissioni di  $\text{CO}_2$  *Festuca* ha mostrato una risposta significativamente maggiore ad una somministrazione di N elevata (N2) rispetto ad una dose convenzionalmente utilizzata nella gestione dei tappeti erbosi. Dalla Tab. 1 si nota come non ci siano differenze significative nelle emissioni di  $\text{CO}_2$  fra Controllo e N1, segnale che probabilmente la dotazione originaria di sostanza organica del suolo ha permesso al Controllo di vegetare adeguatamente con livelli di respirazione dal suolo simili a quelli osservati in N1. Questo risulta essere in linea con quanto affermato da Hamido et al. (2016) il quale afferma che ad elevate dosi di concimazioni azotate le emissioni di  $\text{CO}_2$  che si originano sono significative. Questo è stato inoltre confermato dalla forte correlazione osservata tra dosi di N ed emissioni di  $\text{CO}_2$  ( $r=0.90$ ). Le emissioni di  $\text{CO}_2$  sono state stimulate nel breve periodo dopo la concimazione (Fig. 2), tuttavia dal grafico si nota come la componente batterica del suolo ha richiesto circa 10 giorni per degradare il concime e mostrare un chiaro

effetto sulle emissioni di  $\text{CO}_2$ . Immediatamente dopo il picco di emissioni al giorno 10 Controllo ed N1 mostrano una riduzione significativa delle emissioni, cosa che invece non viene osservata in N2 (Alluvione et al., 2010). Solo dal DOY 205 le differenze fra tutti i trattamenti si riducono con un trend discendente verso il termine della prova. Al contrario, *Cynodon* ha evidenziato emissioni di  $\text{CO}_2$  significativamente elevate già ad una dose di concimazione moderata (N1). In particolare, non si sono osservate differenze significative tra le emissioni di  $\text{CO}_2$  in N1 e N2, che sono risultate essere significativamente superiori a quelle del Controllo (Tab. 1). In questo caso, la correlazione tra dose di N ed emissioni di  $\text{CO}_2$  è risultata inferiore ( $r=0.71$ ) a quella osservata in *Festuca*. Immediatamente dopo la concimazione *Cynodon* mostra una riduzione nelle emissioni di  $\text{CO}_2$  in tutti i trattamenti. Controllo e N1 seguono trend simili nonostante vi siano differenze significative tra di loro. N2 aumenta gradualmente con valori leggermente superiori a N1. Questo risulta in accordo con Alluvione et al. (2010) che osservano trend simili su una coltivazione di mais. Tuttavia, dal DOY 144 le emissioni sembrano essere maggiormente influenzate dalle temperature piuttosto che dalla concimazione dato che differenze significative tra i trattamenti si osservano solo in alcuni casi (DOY 205 e DOY 235).

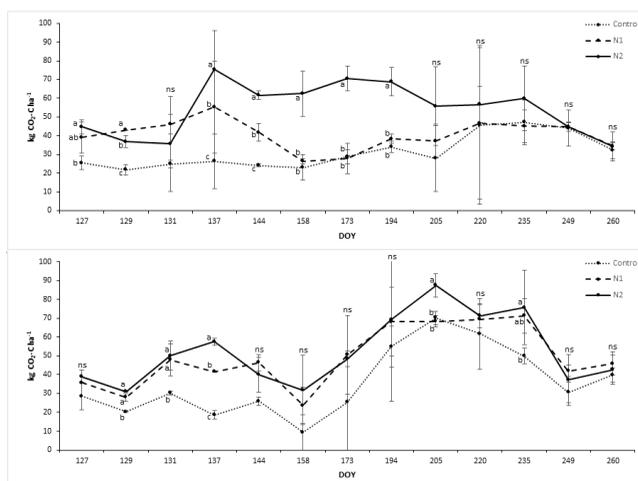


Figura 2. Trend delle emissioni di  $\text{CO}_2$  ( $\text{kg CO}_2\text{-C ha}^{-1}$ ) durante il periodo di misurazioni (DOY 127 – DOY 260) in *Festuca* (sopra) e *Cynodon* (sotto) a differenti livelli di concimazione azotata.

Figure 2. Carbon dioxide emissions ( $\text{kg CO}_2\text{-C ha}^{-1}$ ) trend during monitoring period (DOY 127 - DOY 260) from tall fescue (up) and bermudagrass (below) at different N fertilization rates.

In questa sperimentazione è stato osservato come le emissioni di  $\text{CH}_4$  non siano influenzate dalla concimazione azotata sia in *Festuca* che in *Cynodon* (Tab. 2). Tuttavia, questo è in linea con Whalen (2005) e Oertel et al. (2016) che affermano come il  $\text{CH}_4$  sia principalmente prodotto in condizioni di anaerobiosi. In questo senso, le condizioni asciutte tipiche della zona costiera dell'Italia centrale e il

suolo ben drenante utilizzato per la sperimentazione, hanno evitato il concretizzarsi di queste condizioni. Inoltre, diversi autori affermano come l'utilizzo di solfato di ammonio come concime sia in grado di inibire l'attività di parte dei batteri metanogeni del suolo ed ostacolare quindi le emissioni di CH<sub>4</sub> (Schütz et al., 1989; Cai et al., 1997; Le Mer and Roger, 2001)

### Conclusioni

La concimazione favorisce le emissioni di CO<sub>2</sub> dai tappeti erbosi. In questo studio è stato osservato come la concimazione azotata induca un risposta lieve in *Festuca* con valori simili fra nessuna concimazione e medi livelli di concime. Al contrario, *Cynodon* ha mostrato un'elevata reattività alla concimazione azotata e le emissioni di CO<sub>2</sub> sono state stimolate sia a livello medio che elevato di N. Tuttavia, sono stati osservati valori di emissioni di CO<sub>2</sub> simili fra le due specie allo stesso livello di concimazione. Per quanto riguarda le emissioni di CH<sub>4</sub> non è stata osservata nessuna relazione con la concimazione azotata.

### Bibliografia

- Alluvione F., Bertora C., Zavattaro L., Grignani C., 2010. Nitrous oxide and carbon dioxide emissions following green manure and compost fertilization in corn. *Soil Sci Soc Am J.* 74(2): 384-395.
- Antrop M., 2000. Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe. *Landscape Ecol.* 15: 257-270
- Brown D.G., Johnson K.M., Loveland T.R., Theobald D.M., 2005. Rural land-use trends in the conterminous United States, 1950-2000. *Ecol Appl.* 15: 1851-1863.
- Cai Z., Xing G., Yan X., Xu H., Tsuruta H., Yagi K., et al., 1997. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilisers and water management. *Plant Soil* 196(1): 7-14
- Groffman P.M., Pouyat R.V., 2009. Methane uptake in urban forests and lawns. *Environ Sci Technol.* 43(14): 5229-5235.
- Hamido S.A., Wood C.W., Guertal E.A., 2016. Carbon dioxide flux from bermudagrass turf as affected by nitrogen rate. *Agron J.* 108(3): 1000-1006.
- Hansen A.J., Knight R.L., Marzluff J.M., Powell S., Brown K., Gude P.H., et al., 2005. Effects of exurban development on biodiversity: patterns, mechanisms and research needs. *Ecol Appl.* 15: 1893-1905.
- Houghton R.A., Hackler J.L., Cushman R.M., 2001. Carbon flux to the atmosphere from land-use changes: 1850 to 1990. Oak Ridge: Carbon Dioxide Information Center, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory.
- Ignatieva M., Ahrné K., Wissman J., Eriksson T., Tidåker P., Hedblom M., et al., 2015. Lawn as a cultural and ecological phenomenon: a conceptual framework for transdisciplinary research. *Urban For Urban Green.* 14(2): 383-387.
- Jo H.K., McPherson G.E., 1995. Carbon storage and flux in urban residential greenspace. *J Environ Manage.* 45(2): 109-133.
- Jo H.K., 2002. Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. *J Environ Manage.* 64(2): 115-126.
- Le Mer J., Roger P., 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. *Eur. J. Soil Biol.* 37(1): 25-50.
- Ludwig J., Meixner F.X., Vogel B., Förstner J., 2001. Soil-air exchange of nitric oxide: an overview of processes, environmental factors, and modeling studies. *Biogeochemistry* 52: 225-257
- Milesi C., Running S.W., Elvidge C.D., Dietz J.B., Tuttle B.T., Nemani R.R., 2005. Mapping and modeling the biogeochemical cycling of turf grasses in the United States. *Environ manage.* 36(3): 426-438.
- Nowak D.J., Crane D.E., 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environ Pollut.* 116(3): 381-389.
- Oertel C., Matschullat J., Zurba K., Zimmermann F., Erasmí S., 2016. Greenhouse gas emissions from soils - A review. *Geochem.* 76: 327-352.
- Parkin T.B., Venterea R.T., 2010. USDA-ARS GRACENet Project Protocols, Chapter 3. Chamber-based trace gas flux measurements. In: Follett, R.F., editor. *Sampling Protocols*. Beltsville, MD. Available at: <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Program/212/Chapter%203.%20GRACENet%20Trace%20Gas%20Sampling%20Protocols.pdf>. 2010 p. 1-39
- Patra S., Sahoo S., Mishra P., Chandra S.C., 2018. Impacts of urbanization on land use /cover changes and its probable implications on local climate and groundwater level. *J Urban Manag.* 7(2): 70-84.
- Pouyat R., Groffman P., Yesilonis I., Hernandez L., 2002. Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems. *Environ Pollut.* 116: S107-S118.
- Pouyat R.V., Yesilonis I.D., Nowak D.J., 2006. Carbon storage by urban soils in the United States. *J Environ Qual.* 35(4): 1566-1575.
- Rastogi M., Singh S., Pathak H., 2002. Emission of carbon dioxide from soil. *Curr Sci.* 82(5): 510-517
- Schütz H., Seiler W., Conrad R., 1989. Processes involved in formation and emission of methane in rice paddies. *Biogeochemistry* 7(1): 33-53
- Selhorst A., Lal R., 2013. Net carbon sequestration potential and emissions in home lawn turfgrasses of the United States. *Environ manage.* 51(1): 198-208.
- Shchepeleva A.S., Vasenev V.I., Mazirov I.M., Vasenev I.I., Prokhorov I.S., Gosse D.D., 2017.

- Changes of soil organic carbon stocks and CO<sub>2</sub> emissions at the early stages of urban turf grasses' development. *Urban Ecosys.* 20(2): 309-321.
25. Townsend- Small A., Czimczik C.I., 2010. Carbon sequestration and greenhouse gas emissions in urban turf. *Geophys Res Lett.* 37(2): p. L02707.
  26. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2014. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)*
  27. Qian Y., Follett R., 2012. Carbon dynamics and sequestration in urban turfgrass ecosystems. In: *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*, Springer, Dordrecht, pp. 161-172.
  28. Whalen S.C., 2005. Biogeochemistry of methane exchange between natural wetlands and the atmosphere. *Environ. Eng. Sci.* 22: 73–94.
  29. Zhang Y., Qian Y., Bremer D.J., Kaye J.P., 2013. Simulation of nitrous oxide emissions and estimation of global warming potential in turfgrass systems using the DAYCENT Model. *J. Environ. Qual.* 42: 1100–1108.

# ANALISI DELLA PRODUZIONE PRIMARIA LORDA IN UN VIGNETO PIEMONTESE UTILIZZANDO TECNICHE DI TELERILEVAMENTO

## GROSS PRIMARY PRODUCTION ANALYSIS IN PIEDMONTESE VINEYARD BY USING REMOTE SENSING TECHNIQUES

Simone Falzoi<sup>1\*</sup>, Federico Spanna<sup>2</sup>, Enrico Corrado Borgogno Mondino<sup>3</sup>, Stuart Green<sup>4</sup>, Simona Fratianni<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Earth Science Department, University of Torino, via Valperga Caluso 35 - 10125, Torino, Italy.

<sup>2</sup> Piedmont Region, Phytosanitary service, Agrometeorology sector, via Livorno 60, 10144 Torino, Italy

<sup>3</sup> Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, University of Torino, Largo Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO), Italy.

<sup>4</sup> Department of Agrifood Business and Spatial Analysis, Teagasc Food Research Centre, Ashtown, Dublin 15, Ireland

<sup>5</sup> Research Centre on Natural Risks in Mountain and Hilly Environments - *NatRisk*, Largo Braccini 2 – 10095, Grugliasco (TO), Italy.

\* [simone.falzoi@unito.it](mailto:simone.falzoi@unito.it)

### Abstract

**Background and Aim:** The viticultural sector plays a key role for the regional economy of Piedmont (Northern Italy), hence it is important to evaluate the grape productivity in relation to environmental variables. This paper proposes to estimate the gross primary production (GPP) of a vineyard at the *terroir* scale and determine its variation over time and space, by using meteorological data and remote sensing techniques.

**Methods:** Earth Observation (EO) products were collected from April to October for the period 2016-2018, while the meteorological data were obtained from the weather station on La Morra vineyard with records from 1996 to 2018. The two data sets were used to calculate the GPP.

**Main results and Conclusions:** The results highlighted the reliability of the remote sensing techniques, combined with weather data, to evaluate the gross primary production, according to the climatic condition. The resulting maps were more precise using the Sentinel 2 imagery compared to Landsat 8 products. This procedure represents a potential tool that can be successfully applied to different geographical situations in order to predict the vegetation activity and productivity for many agricultural crops. This research has particular value when translated as a near-real-time service, and can be updated easily each year with new data observations.

### Parole chiave

EVI, NDMI, GPP

### Keywords

EVI, NDMI, GPP

### Introduzione

Il settore vitivinicolo svolge da sempre un ruolo chiave per l'economia della Regione Piemonte. Nel 2018, secondo il rapporto tecnico regionale, circa 45 mila ettari di superficie agricola è stata coltivata a vigneto, principalmente nei territori delle Langhe-Roero e Monferrato (a sud-est della regione), sulle colline centrali del torinese e a nord nelle province di Biella e Novara. Hanno interessato 18 mila aziende agricole, 54 Cantine cooperative, producendo circa 2,5 milioni di ettolitri (5% della produzione nazionale) ed un fatturato di export pari ad 1 miliardo di euro (18% dell'export vini nazionale).

In questo quadro, determinare lo sviluppo vegetativo e riproduttivo della vite, e quindi la maturazione e la qualità delle uve, risulta uno degli argomenti principali sia dal punto di vista scientifico sia da quello economico. Tali processi sono strettamente regolati dalle condizioni ambientali e oltre alle variabili meteorologiche e climatiche, anche le caratteristiche pedologiche e geomorfologiche del vigneto stesso influenzano la qualità del prodotto finale. Inoltre, i cambiamenti del clima in atto stanno provocando sempre più instabilità e differenze

climatiche rilevanti tra le annate. Ad esempio, a causa dell'evento siccitoso verificatosi durante l'estate del 2017 la produzione viticola ha registrato una riduzione del 30% rispetto a quella del 2018. In futuro, i modelli predittivi prevedono un incremento del numero di eventi climatici estremi, tra cui la siccità ed alluvioni, con ripercussioni considerevoli su risorse idriche ed agricoltura (Bindi and Olesen, 2011).

Per prevedere le interazioni di tutti questi fattori non è più sufficiente l'utilizzo dei soli dati meteorologici che hanno comunque prodotto numerosi indici a carattere bioclimatico. Queste tecniche, di tipo classico, non possono fornire un set di dati continuo nel tempo e nello spazio. Di conseguenza, risultano necessari nuovi strumenti basati su una tecnologia più avanzata per stimare e prevedere le fluttuazioni stagionali delle variabili di qualità. Le tecniche di telerilevamento da osservazioni satellitari possono fornire dati a lungo termine, continui e uniformemente distribuiti (Gu *et al.*, 2007; Renza *et al.*, 2010). Questi dati, sotto forma di immagini, sono liberamente accessibili grazie alle agenzie spaziali statunitense (NASA) ed europea (ESA) che da diversi anni mettono a disposizione i loro

prodotti fornendo informazioni per una vasta gamma di indici.

In questo studio vogliamo stimare la produzione primaria lorda (GPP) (Ruimy *et al.*, 1996, Xiao *et al.*, 2004) di un vigneto alla scala di *terroir*, utilizzando dati meteorologici e tecniche di telerilevamento per determinare la variazione nel tempo e nello spazio dell'evoluzione della capacità di fissazione totale del carbonio da parte del comprensorio viticolo.

## Materiali e Metodi

Il vigneto di La Morra (44°37'50"N, 07°56'39"E), situato in provincia di Cuneo, si estende su una superficie di circa 40 ha (Fig. 1): nebbiolo, barbera e dolcetto rappresentano i vitigni più significativi.

La stazione climatica corrispondente, i cui dati sono stati utilizzati in questo studio, è attiva dal 1996 ed appartiene alla rete meteorologica della Regione Piemonte (RAM). I dati meteorologici hanno permesso di caratterizzare l'andamento climatico nell'area di studio.

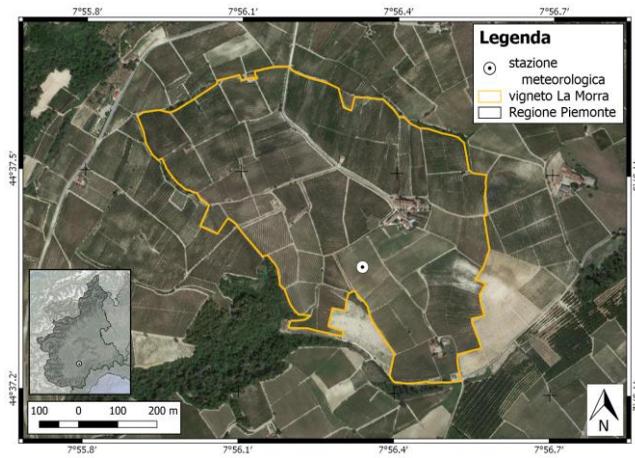


Fig. 1- Caso studio: vigneto di La Morra

Fig. 1- Vineyard case study: La Morra

Le immagini dei satelliti Landsat 8 (L8) e Sentinel 2 (S2) sono state raccolte per il periodo vegetativo da aprile ad ottobre, dal 2016 al 2018, e sono stati esaminati gli indici spettrali Enhanced Vegetation Index - EVI (Huete *et al.*, 1997, eq.1) e Normalized Difference Moisture Index - NDMI (Wilson *et al.*, 2002, eq. 2).

$$EVI = G \times \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 \times RED - C_2 \times BLUE + L} \quad (1)$$

dove NIR, RED e BLUE rappresentano rispettivamente, le riflettanze spettrali delle lunghezze d'onda del vicino infrarosso, del rosso e del blu. L è la correzione per la copertura vegetale, C1 e C2 sono i coefficienti per la correzione degli aerosol in funzione della riflettanza nel blu e G è il gain factor.

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (2)$$

dove NIR e SWIR rappresentano rispettivamente, le riflettanze spettrali del vicino infrarosso e dell'infrarosso ad onda corta. I sensori del S2 utilizzano la banda 8 per il NIR e la banda 11 per lo SWIR, mentre nei sensori del L8 i valori di NIR e SWIR sono determinati dalle bande 5 e 6. Il modello di efficienza fotosintetica (LUE), in cui viene selezionata solo la frazione di luce effettivamente assorbita dai pigmenti della clorofilla (FPAR<sub>chl</sub>), è alla base per la stima del valore di GPP, calcolato secondo la seguente equazione:

$$GPP = \varepsilon_g \times FPAR_{chl} \times PAR \quad (3)$$

dove  $\varepsilon_g$  è l'efficienza della luce [ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ] (eq. 4) influenzata da temperatura ( $T_{scalar}$ , eq. 5), acqua ( $W_{scalar}$ , eq. 4) e fenologia ( $P_{scalar}$ , eq. 6); FPAR<sub>chl</sub> è equivalente a EVI; PAR è la radiazione fotosinteticamente attiva, stimata secondo Duffie & Beckman (1991).

$$\varepsilon_g = \varepsilon_0 \times T_{scalar} \times W_{scalar} \times P_{scalar} \quad (4)$$

dove  $\varepsilon_0$  è la massima efficienza della luce [ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ].

$$T_{scalar} = \frac{(T - T_n) \times (T - T_x)}{(T - T_n) \times (T - T_x) - (T - T_{opt})^2} \quad (5)$$

dove T è il valore giornaliero di temperatura media calcolato mediato su 7 giorni precedenti all'acquisizione dell'immagine satellitare,  $T_n$ ,  $T_x$ , e  $T_{opt}$  rappresentano rispettivamente le temperature cardinali minime (12 °C), massime (33 °C) ed ottimali (25 °C) per la vite (Mariani *et al.*, 2013).

$$W_{scalar} = \frac{1 + NDMI}{1 + NDMI_x} \quad (6)$$

dove NDMI<sub>x</sub> è il valore massimo di ogni pixel considerato durante il periodo vegetativo.

$$P_{scalar} = \begin{cases} \frac{1 + NDMI}{2} & \text{germogliamento} \\ 1 & \text{completo sviluppo fogliare} \end{cases} \quad (7)$$

L'indice GPP è stato calcolato a due diverse risoluzioni spaziali, 30 e 10 m, utilizzando le immagini del L8 e del S2. Le analisi multi-temporali e spaziali sono state condotte utilizzando il software statistico R-project software R-3.5.0.

## Risultati e conclusioni

In Figura 2 è rappresentata l'evoluzione cartografica dell'indice GPP durante la stagione vegetativa e riproduttiva dal 2016 al 2018, per le fasi di germogliamento, fioritura, invaiatura e raccolta nel vigneto di La Morra. La variazione di colore dell'indice consente di determinare lo stato di produzione primaria lorda nelle diverse aree del vigneto. In generale, utilizzando le immagini del S2 si ottengono valori di GPP maggiori rispetto all'utilizzo del L8. Inoltre, con i prodotti del S2

l'indice GPP risulta più accurato nell'identificare le differenze di sviluppo della pianta nel vigneto.

Le condizioni climatiche influenzano la produttività e lo sviluppo della vegetazione e l'andamento dei diagrammi termo-pluviometrici nel vigneto di La Morra hanno evidenziato tre differenti situazioni nei tre anni analizzati (Fig. 2).

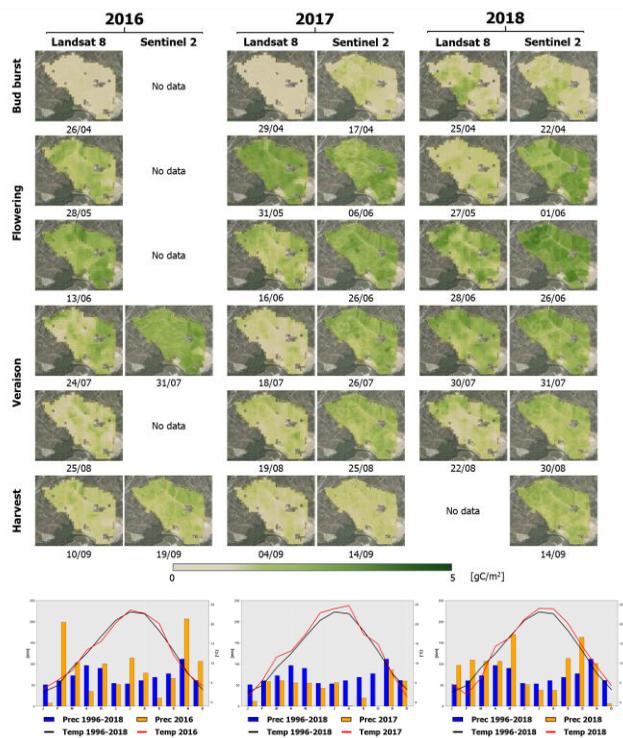


Fig. 2- Evoluzione dell'indice GPP durante le stagioni vegetativa e riproduttiva, e andamento termo-pluviometrico nel vigneto de La Morra, dal 2016 al 2018.

Fig. 2- GPP index evolution during the vegetative and reproductive seasons, and thermo-pluviometric diagrams from La Morra vineyard, between 2016 and 2018.

Le temperature medie mensili del 2016 non si scostano dall'andamento medio del periodo di riferimento (1996-2018), mentre le precipitazioni cumulate hanno registrato una riduzione pari ad un terzo del valore medio nei mesi di aprile e settembre, contrapposte agli aumenti verificati nella stagione estiva e nei mesi di febbraio e novembre. La copertura nuvolosa, in corrispondenza dell'acquisizione delle immagini del S2, non consente un confronto cartografico con i risultati del L8.

Il 2017 è stato caratterizzato, per tutto il corso dell'anno, da temperature elevate fino a 2-3 °C oltre la media e da una importante riduzione di pioggia culminato nell'evento siccitoso nei mesi di agosto, settembre ed ottobre. Le opposte condizioni termiche ad inizio e fine primavera hanno inizialmente favorito lo sviluppo anticipato della vegetazione per poi interromperne i processi durante gli abbassamenti di temperatura e di gelate tardive verificatesi in aprile, provocando notevoli danni al settore agricolo. Il germogliamento è stato determinato con le immagini del S2

il 17/04, in anticipo rispetto agli altri anni, ma la stessa fase risulta assente 12 giorni dopo con le immagini del L8. Gli effetti della carenza idrica sono ben visibili con le immagini di entrambi i satelliti in una riduzione dei valori dell'indice GPP a partire dalla seconda metà del mese di luglio. Il grafico in Figura 3 confronta l'andamento dell'indice GPP e la riduzione di produttività nel 2017 e nel 2018, mediando i valori ottenuti da entrambi i satelliti in prossimità della stazione meteorologica. Nonostante valori dell'indice più elevati nel mese di maggio del 2017, la carenza di precipitazione, associata ad elevate temperature, ha provocato una drastica riduzione di produzione primaria nel corso della stagione.

Nel 2018 è stato registrato un aumento di precipitazioni rispetto ai valori medi da gennaio a maggio e nella stagione autunnale. Le temperature, inferiori ai valori medi in febbraio e marzo, hanno registrato un costante andamento con valori di 1-2 °C oltre la media del periodo da aprile a dicembre. L'inizio della ripresa vegetativa è presente nelle carte di entrambi i satelliti. I valori dell'indice GPP evidenziano una elevata produzione primaria che confermano gli ottimi risultati quantitativi dell'annata.

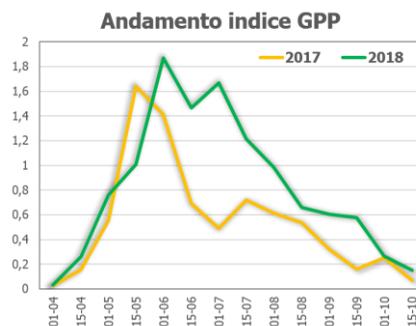


Fig. 3- Confronto dell'andamento dell'indice GPP nel 2017 e 2018.

Fig. 3- Comparison of the GPP index trends in 2017 and 2018.

La procedura descritta rappresenta un potenziale strumento che può essere applicato con successo a diverse situazioni geografiche al fine di prevedere l'attività della vegetazione e la produttività di un vigneto e di altre colture agricole. Questa ricerca può essere tradotta in servizio in tempo quasi reale ed aggiornata facilmente con nuove osservazioni e dati.

### Bibliografia

- Bindi M., Olesen J.E., 2011. The responses of agriculture in Europe to climate change. *Reg Environ Change*, 11 (Suppl 1):S151-S158.
- Duffie J.A., Beckman W.A., 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley, Hoboken.
- Gu Y., Brown J.F., Verdin J.P., Wardlow B., 2007. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophys Res. Lett.*, vol. 34, L06407.

- Huete A.R., Liu H.Q., Batchily K., van Leeuwen W., 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.*, 59: 440-451.
- Mariani L., Alilla R., Cola G., Dal Monte G., Epifani C., Puppi G., Failla O., 2013. IPHEN - a real-time network for phenological monitoring and modelling in Italy. *Int J Biometeorol*, 57: 881-893.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Renza D., Martinez E., Arquero A., Sanchez J., 2010. Drought estimation maps by means of multivariate Landsat fused images. In 30<sup>th</sup> EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage, vol. 30.
- Ruimy A., Dedieu G., Saugier B. 1996. TURC: A diagnostic model of continental gross primary productivity and net primary productivity. *Global Biogeochemical Cycles*, 10: 269-285.
- Wilson E.H., Sader S.A., 2002. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sens. Environ*, 80: 385-396.
- Xiao X, Zhang Q, Hollinger D, Aber J, Moore B., 2004. Modeling seasonal dynamics of gross primary production of an evergreen needleleaf forest using MODIS images and climate data. *Ecol. Appl.*, 15: 954-969.

# **DANNI DA FREDDO SU PIANTE DI OLIVO NELLE MARCHE A SEGUITO DELLE ANOMALIE CLIMATICHE DI INIZIO 2018**

## *FROST DAMAGES IN OLIVE OIL ORCHARDS OF THE MARCHE REGION FOLLOWING THE EXCEPTIONAL CLIMATIC CONDITIONS OCCURRED AT THE BEGINNING OF THE YEAR 2018*

Danilo Tognetti<sup>1\*</sup>, Barbara Alfei<sup>1</sup>, Sandro Nardi<sup>1</sup>, Giorgio Pannelli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ASSAM Regione Marche, via dell'Industria 1, 60027, Osimo (AN)

<sup>2</sup> Già Primo Ricercatore CREA-OFA, Spoleto; [www.giorgiopannelli.it](http://www.giorgiopannelli.it)

\* [tognetti\\_danilo@assam.marche.it](mailto:tognetti_danilo@assam.marche.it)

### **Abstract**

A hard frost, very deep both for duration, intensity, and way of action occurred in Marche region at the end of February 2018. Olive oil plants exposed to hostile weather conditions revealed different variety resistance and unusual agronomic behavior: most of damaged plants reduced or lost the olive production in 2018 and some times in the following years. Probably the reason of this unusual behavior is the consequence of the mild winter climate of the period before the frost time. Temperatures in January were often higher respect to the mean of the period and rainfall was very frequent in February. Severe damages occurred in plants Cv. Frantoio and in similar genotypes that showed longitudinal splitting of wood in 2-3 years or older branches, or sometimes in the main branches and in the trunk. Frost damages were more severe in the lower part of the canopy. A great improvement of Olive Knot infections was observed in spring and summer 2018.

### **Parole chiave**

Marche, gelo, danni, olivo, rogna, cambiamenti climatici.

### **Keywords**

Marche, frost, damage, olive tree, olive knot, climate change.

### **Introduzione**

L'ondata di freddo di fine febbraio 2018, che ha colpito gran parte del territorio italiano, ha interessato anche le Marche. L'abbassamento repentino di temperatura, inserito in un contesto climatico assolutamente anomalo, ha comportato danni alle piante di olivo. Le piante hanno manifestato sintomi su più livelli: a partire dalle gemme, ai rami di 1-2 anni, alle branche secondarie, fino a colpire, nei casi più gravi, le branche primarie ed il tronco. In molti casi quindi, le piante hanno visto compromessa del tutto o in parte la capacità produttiva dell'anno e, nelle condizioni peggiori, anche quella di alcuni anni successivi.

La ragione di tali insoliti comportamenti è da attribuire probabilmente all'andamento termico e pluviometrico dei primi mesi dell'anno. Gennaio ha fatto registrare nelle Marche una temperatura media significativamente superiore alla norma mentre febbraio, fino al momento della gelata di fine mese, è stato sostanzialmente mite o comunque non troppo freddo e caratterizzato soprattutto da abbondanti precipitazioni.

Nel presente lavoro si intende approfondire come le anomalie climatiche nel periodo precedente, contemporaneo e successivo alla gelata abbiano determinato danni ed insoliti comportamenti su diverse varietà di olivo nelle Marche.

### **Materiali e Metodi**

I dati di temperatura, precipitazione e umidità utili a caratterizzare l'andamento termo-pluviometrico di questo lavoro sono stati rilevati dalla stazione agrometeorologica sita nel comune di Montefano (MC), una delle 65 stazioni della rete agrometeorologica dell'ASSAM distribuite sul territorio regionale (Fig. 1). Tale stazione, ubicata in ambiente agricolo collinare, è stata scelta per la posizione rappresentativa delle anomalie climatiche riscontrate nell'area piuttosto vasta del territorio regionale interessata dai danni da freddo.

Nel lavoro viene esaminato l'andamento di temperatura, precipitazione, umidità e vento del periodo gennaio-aprile 2018, a confronto con il periodo storico di riferimento 1999-2017, anni per i quali si hanno a disposizione serie complete dei dati meteo.

Per verificare i danni sono state effettuate osservazioni su piante di diverse varietà (sia autoctone delle Marche, sia di ampia diffusione come Leccino e Frantoio), giovani ed adulte, posizionate in diverse zone sia litoranee, sia nell'entroterra, sia nei fondovalle, sia in altura.

I danni alle gemme, non visibili ad occhio nudo, sono stati riscontrati nei mesi successivi all'evento calamitoso come mancato germogliamento e mancata fioritura; i danni alla chioma (defogliazione parziale o totale, fessurazioni di rami di 1-2 anni o di diametro maggiore fino alle grosse branche ed al tronco nei casi più gravi) sono stati riscontrati in parte subito dopo la gelata ed in parte come disseccamenti della chioma soprattutto in corrispondenza del periodo estivo,

quando caldo e siccità hanno messo alla prova l'integrità del sistema vascolare.

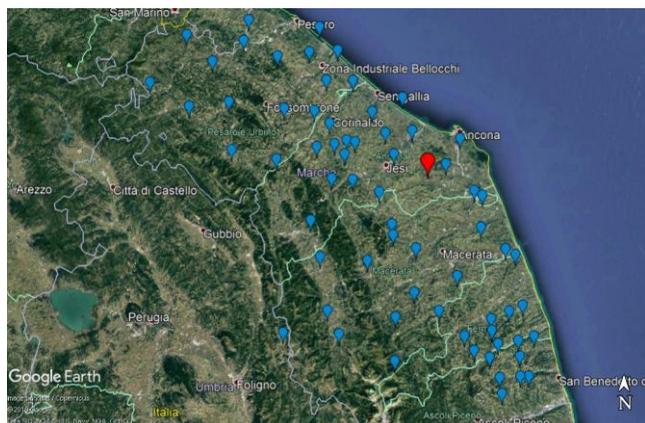


Fig. 1 Posizione geografica delle stazioni della rete agrometeo ASSAM. In rosso la stazione di Montefano, posizione 13°26'59.348"E 43°25'6.035"N, 180 m.s.l.m.

Fig. 1 Geolocalization of the ASSAM agrometeorological net stations. Montefano weather station in red; Geocoordinates 13°26'59.348"E 43°25'6.035"N, 180 m. above sea level.

## Risultati e Discussione

**Temperatura.** La temperatura della notte è quella che determina il grado di attività fisiologica della pianta; si ritiene che 7,5 °C sia il limite minimo per un'intensa attività fotosintetica, mentre 4 °C è ritenuto il limite al di sotto del quale si interrompe ogni attività vegetativa (Bongi, 2004). Gennaio 2018 è stato molto più caldo della norma (Fig. 2). In particolare, i valori della temperatura minima sono stati superiori a 4°C per 18 giorni, 3 dei quali sopra a 7,5°C. Febbraio è stato caratterizzato invece dalla gelata di fine mese. Prima di tale evento la temperatura massima aveva fatto registrare valori generalmente bassi che sono scesi sotto soglia 0°C nei giorni 26 e 27. Nel corso della gelata, la temperatura ha raggiunto valori minimi assoluti di -5,3°C, -7,2°C e -6,9°C rispettivamente nei giorni 26, 27 e 28. Successivamente le temperature minime e massime si sono mantenute sotto la media per circa una settimana per poi risalire a livelli prossimi o superiori ad essa (Fig. 2).

**Precipitazione.** La precipitazione, ovvero un'elevata umidità atmosferica, determina il grado di bagnatura della chioma contribuendo ad aggravare i danni da freddo, particolarmente quando anche la temperatura rimane sotto lo zero. Un'elevata e persistente piovosità favorisce anche l'attività di molti patogeni dell'olivo, con particolare riferimento a quelli che godono di una persistente bagnatura della chioma (es. rogna, occhio di pavone).

Modeste sono state le piogge di gennaio, quasi tutte distribuite durante la prima decade (Fig. 3). Più consistenti le precipitazioni delle prime due decadi di febbraio ma è nell'ultima decade che le precipitazioni sono state particolarmente frequenti ed abbondanti. Piogge e nevicate hanno interessato il periodo 22-28 febbraio, compreso

quindi l'intero periodo della gelata. Piovosità persistente ed elevata anche nei giorni seguenti fino in pratica all'inizio di aprile. Poi i fenomeni sono praticamente cessati.

**Umidità relativa.** Elevati tenori di umidità relativa influenzano fortemente l'attività di molti patogeni, con particolare riferimento a quelli che si avvantaggiano di un elevato e costante contenuto di umidità dell'aria (es. occhio di pavone, lebbra).

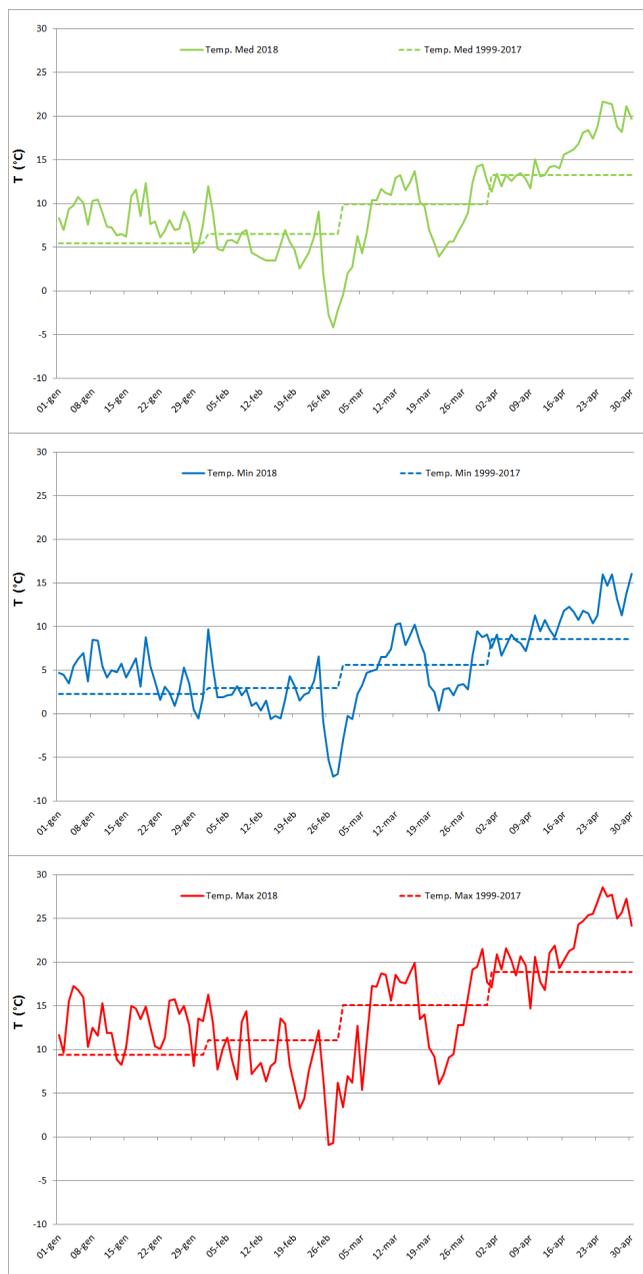


Fig.2 – Andamento della temperatura media (in alto), minima (al centro) e massima (in basso) giornaliera rilevate dalla stazione di Montefano, periodo gennaio-aprile 2018, rispetto allo storico di riferimento 1999-2017.

Fig.2- Montefano station - daily temperature from January to April 2018 compared to 1999-2017 reference period: Mean temperature trend (up), Minimum temperature trend (centre), Maximum temperature trend (down).

Più elevata della norma l'umidità relativa di gennaio (Fig. 4). Febbraio è decorso con umidità massima quasi sempre oltre l'80% e spesso superiore al 90%. Anche l'umidità media è risultata spesso superiore alla norma, in particolare durante l'ultima decade quando c'è stato l'evento della gelata. L'umidità massima è risultata particolarmente elevata anche dopo la gelata; essa è stata sempre su valori prossimi alla massima, poi è diminuita verso valori più in linea con la media storica.

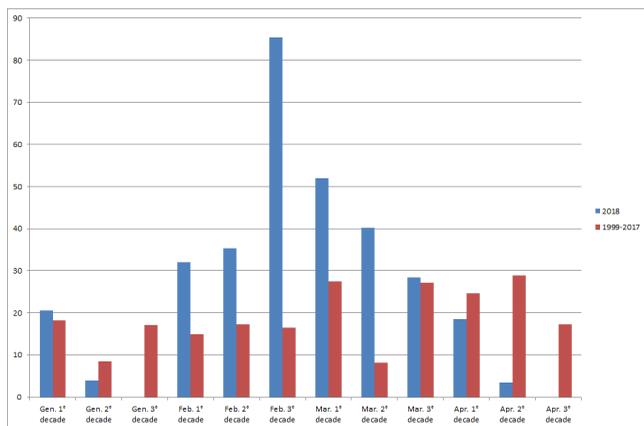


Fig.3 – Andamento della precipitazione totale decadale (mm) rilevata dalla stazione di Montefano, periodo gennaio-aprile 2018 rispetto allo storico di riferimento 1999-2017.

Fig.3- Montefano station – Decadale Rainfall trend (mm) from January to April 2018 compared to 1999-2017 reference period.

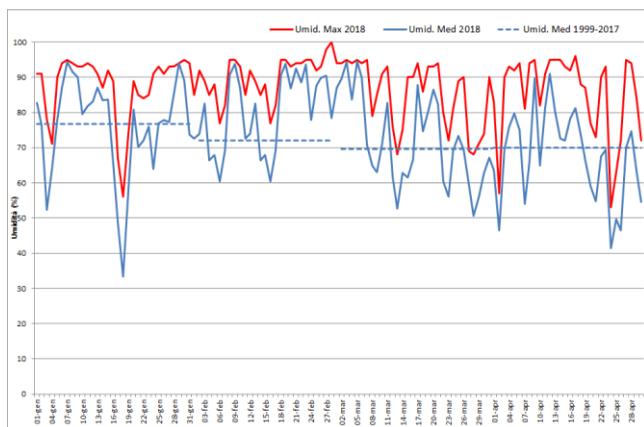


Fig.4 – Andamento della umidità relativa media e massima giornaliera (%) rilevata dalla stazione di Montefano, periodo gennaio-aprile 2018 rispetto allo storico di riferimento 1999-2017.

Fig.4- Montefano station – mean and maximum air humidity trend (%) from January to April 2018 compared to 1999-2017 reference period.

I danni alle gemme, non visibili, si sono potuti riscontrare nei mesi successivi all'evento particolarmente freddo di febbraio come mancata fioritura e di conseguenza mancata produzione su piante apparentemente sane. Tra i danni visibili subito dopo la gelata, quelli di minore entità hanno

riguardato parziale o totale filloptosi, spesso associata a danni diversamente estesi sui rami di un anno, cui le piante hanno risposto con un nuovo ed intenso germogliamento, tale da rinnovare completamente la vegetazione della chioma; nei casi più gravi, invece, sono stati rilevati, sin da subito, danni su rami di 2-3 anni ed oltre, fino alle branche primarie ed al tronco, dove sono state osservate fenditure longitudinali soprattutto nella porzione di chioma esposta a Nord e ad Est. In diverse situazioni le piante, apparentemente non molto danneggiate, hanno evidenziato durante la successiva stagione vegetativa progressivi disseccamenti della chioma, soprattutto in corrispondenza del periodo estivo quando caldo e siccità hanno messo alla prova l'integrità del sistema vascolare.

Molte piante, soprattutto nel centro-nord della Regione, hanno visto compromessa la capacità produttiva dell'anno, parzialmente o totalmente, con ripercussioni anche negli anni successivi, nei casi più gravi.

Nelle Marche la campagna olivicola 2018-2019 ha fatto registrare un consistente calo produttivo.

La peculiare gelata ha inoltre consentito di evidenziare la differente risposta varietale alle peculiari condizioni termigro-pluviometriche. In alcuni genotipi è stata confermata la tolleranza al freddo già dimostrata in eventi di gelata degli anni precedenti (es. febbraio 2012), mentre in altri sono stati evidenziati comportamenti anomali rispetto a quanto descritto in bibliografia (Famiani et al., 2012; Lodolini et al., 2016).

Varietà sensibili risultate tali (es. Frantoio). I maggiori danni sono stati osservati su varietà Frantoio e geneticamente simili. Sono state riscontrate fenditure longitudinali in particolare localizzate nella porzione esposta a Nord e ad Est su rami di 2-3 anni ed oltre, fino alle grosse branche ed al tronco (Fig. 5). In molti casi, quindi, le piante hanno visto compromessa del tutto o in parte la funzione vegeto-produttiva.



Fig.5 – Danni da gelo su varietà Frantoio.  
Fig.5 – Frost damages: Splitting of wood in Cv. Frantoio.

Varietà tolleranti risultate tali (es. Leccino, Orbetana). Per quanto ritenute tolleranti, in alcune piante sono emerse chiare indicazioni sulla progressione del danno nei diversi organi: seppur apparentemente sane, le piante sono risultate successivamente prive di fioritura, si sono infatti verificati danni solo alle gemme.



Fig.6 – In primo piano olivo varietà Leccino risultato tollerante al freddo e sullo sfondo olivo varietà Frantoio risultato danneggiato.

Fig.6 – Foreground: Cv. Leccino olive oil plant frost tolerant; background: Cv. Frantoio olive oil plant damaged by frost.

Varietà tolleranti risultate sensibili (Piantone Mogliano e Falerone). L'accentuata sensibilità mostrata da varietà notoriamente tolleranti al freddo come Piantone di Mogliano e Piantone di Falerone, può essere attribuita alla eccessiva rapidità nella ripresa vegetativa di tali varietà; queste infatti sono state selezionate in zone interne ed a quote elevate dove è necessario sfruttare rapidamente il breve periodo di tempo concesso dalle condizioni climatiche locali. Le piante hanno mostrato danni estesi alle branche secondarie fin quasi alla loro inserzione su quelle primarie; hanno risposto con un debole germogliamento nella zona distale della chioma ed uno più vigoroso nella zona interna, tale da rendere necessario il rinnovo quasi totale della struttura secondaria. Le condizioni vegetative verificatesi hanno pregiudicato la produzione dell'anno in corso ed anche quella di 1-2 anni successivi alla gelata.



Fig.7 – Danni da gelo su varietà Piantone di Mogliano.

Varietà ambientale (fondovalle e litorale). Contrariamente al solito, maggiori danni sono stati rilevati su piante coltivate in altura in particolare se esposte da Nord ad Est, anziché su quelle coltivate in zone di fondovalle. Tale fenomeno è probabilmente dipeso dai venti provenienti dall'Adriatico, "vettori" del freddo

continentale ma che allo stesso tempo hanno limitato un ricambio dell'aria nei fondovalle. Oliveti danneggiati sono stati osservati anche nelle zone litoranee dove le piante erano in avanzato stato di risveglio vegetativo a causa delle elevate temperature del periodo antecedente la gelata di fine febbraio.

Varietà agronomica (porzione di chioma). Un comportamento piuttosto insolito è stato osservato sulla chioma degli alberi, stranamente risultata più danneggiata in basso piuttosto che in alto (Fig. 8). A tal proposito si ricorda che il periodo immediatamente precedente la gelata è stato ovunque molto piovoso e umido. I primi aghi di ghiaccio si sono quindi formati al di fuori degli organi vegetativi più delicati dell'albero (gemme, foglie e rami di un anno), per poi proseguire verso l'interno senza soluzione di continuità causa la presenza del velo di umidità e temperature massime sottozero. La porzione superiore di chioma è stata poi "asciugata" dal vento che dopo la gelata è tornato a soffiare e dal maggiore soleggiamento (Fig. 9) mentre quella inferiore è rimasta bagnata risultando la più danneggiata dal freddo.



Fig.8 – In varietà sensibili al freddo (Frantoio), le piante risultano danneggiate maggiormente nella porzione inferiore di chioma.

Fig.8 – Frost damages (Cv. Frantoio) more severe in the lower part of the canopy.

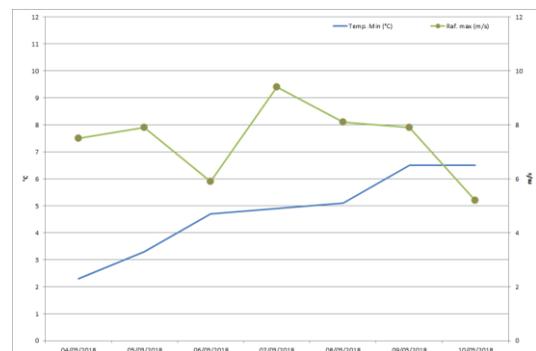


Fig.9 – Andamento della temperatura minima (°C) e della raffica massima del vento (m/s) rilevate dalla stazione di Montefano nei giorni successivi alla gelata.

Fig.9 – Montefano station - daily minimum temperature (°C) and maximum wind speed (m/s) in the days following the frost.

**Variabilità sanitaria (rogna).** Ulteriori danni sono stati provocati dal batterio agente causale della rogna dell'olivo (*Pseudomonas savastanoi*) che, favorito dalle numerose fenditure aperte dal gelo, dalla persistente bagnatura delle piante per un lungo lasso di tempo dopo la gelata e dal notevole rialzo termico al termine del suddetto periodo, ha proliferato tanto rapidamente quanto intensamente aggravando decisamente i danni da gelo, particolarmente sulle varietà sensibili (es. Frantoio). La virulenza del batterio è stata favorita anche dalla impraticabilità dei terreni e dalla persistente bagnatura della chioma che, di fatto, hanno impedito la somministrazione di prodotti rameici nei giorni immediatamente successivi all'evento calamitoso. Talvolta la virulenza del batterio è stata tale da provocare danni più gravi della stessa gelata: il settore di ramo/branca sopravvissuto al congelamento è stato completamente colonizzato dalla rogna tanto da compromettere la vita stessa della struttura. Porzioni di piante ed anche piante intere sono disseccate ai primi calori estivi, anche con fiori o frutticini allegati, quando il sistema vascolare danneggiato dal proliferare del batterio è collassato a seguito della elevata domanda evapotraspiratoria della chioma.



*Fig.10 – Piante con vistose fenditure lungo le strutture legnose principali ai cui lati sviluppano tubercoli riferibili ad intensa attività del batterio della rogna.*

*Fig.10 – Evident splitting of wood in the primary branches and trunk with the effect of the development of Olive Knot infection.*

## Conclusioni

L'andamento climatico dei primi 4 mesi del 2018 può considerarsi veramente anomalo, per l'intensità del freddo di fine febbraio preceduto da un prolungato periodo caldo-umido; ciò risulta di particolare interesse nella prospettiva del cambiamento climatico (ISPRA, 2015) che potrebbe determinare in futuro un aumento di eventi estremi di questo tipo (Amendola et al., 2019). Anche nelle Marche infatti, negli ultimi anni, si sono osservate stagioni invernali

piuttosto miti con il freddo ridotto a singoli episodi spesso intensi e tardivi.

L'olivo, una volta acclimatato al freddo, perde facilmente la resistenza acquisita qualora intervengano periodi invernali con temperatura mite. Questo fenomeno è maggiormente influenzato dalla temperatura dell'aria. La costante temporale che nell'olivo causa la perdita dell'acclimatamento è stimabile all'incirca in 6 giorni con temperature medie sopra ai 16 °C (Fiorino et al., 2000).

La gelata, sopravvenuta tanto repentinamente quanto intensamente, ha trovato le piante in ripresa vegetativa, ricche di acqua nei tessuti, bagnate per effetto della pioggia e dell'elevata umidità atmosferica. La pioggia poi è stata abbondante e persistente per un lungo periodo anche dopo la gelata, così come l'umidità dell'aria risultata prossima alla saturazione per un analogo periodo di tempo. Terminata la pioggia, salvo brevi periodi di normalità, le temperature minime e massime sono tornate su valori ampiamente superiori alla media.

Differenti sono state le risposte varietali al freddo. In alcuni genotipi è stata confermata la tolleranza al freddo già dimostrata in precedenti gelate, mentre in altri sono stati evidenziati comportamenti inaspettati ed anomali. Inoltre, molto è dipeso dalla giacitura ed esposizione degli oliveti ed a volte dalla posizione delle singole piante. Le più colpite sono risultate essere le zone di altura probabilmente perché maggiormente esposte ai venti freddi provenienti dai Balcani, e le zone litoranee dove le piante erano in avanzato stato di risveglio vegetativo a causa dell'anomalo caldo del periodo precedente la gelata.

Ulteriori danni sono stati provocati dal batterio della rogna favorito dalle numerose fenditure aperte dal gelo e dalla persistente bagnatura delle piante.

## Bibliografia

- Bongi G., 2004. Modelli produttivi in olivicoltura. *Olivo e Olio*, 9: 8-15.
- Famiani F., Pannelli G., Alfei B., 2012. Come e quando intervenire contro i danni da gelo. *Olivo e Olio*, 4: 38-42.
- Fiorino P., Mancuso S., 2000. *Olivo e basse temperature: danni da freddo, adattamento e resistenza.* L'Informatore Agrario, 22: 55-59.
- Lodolini E.M., Alfei B., Santinelli A., Cioccolanti T., Polverigiani S., Neri D., 2016. Frost tolerance of 24 olive cultivars and subsequent vegetative re-sprouting as indication of recovery ability. *Scientia Horticulturae*, 211: 152-157.
- ISPRA, Clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali. ISPRA, Stato dell'ambiente (2015) 58.
- Amendola S., Maimone F., Pelino V., Pasini A., New records of monthly temperature extremes as a signal of climate change in Italy. *International Journal of Climatology* (2019) 39: 2491-2503.

# L'INFLUENZA DELLA GESTIONE DEL SUOLO E DEL TRAFFICO SULLA CONSERVAZIONE DELL'ACQUA E DEL SUOLO IN AGRICOLTURA: UN CASO STUDIO IN PIEMONTE

## *EFFECTS OF SOIL MANAGEMENT AND TRAFFIC ON WATER AND SOIL CONSERVATION IN AGRICULTURE: A CASE STUDY IN PIEDMONT*

Giorgio Capello<sup>1\*</sup>, Marcella Biddoccu<sup>1</sup>, Eugenio Cavallo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute for Agricultural and Earthmoving Machines (IMAMOTER), National Research Council of Italy, 10135 Torino, Strada delle Cacce, 73, Italy  
\* g.capello@ima.to.cnr.it

### **Abstract**

Climate variability, especially in relation to the distribution and intensity of precipitation, and soil management practices have a strong influence on hydrological processes, such as infiltration and surface runoff formation, and on degradation processes, such as soil compaction and erosion. The monitoring carried out from 2000 to 2017 in a vineyard in Alto Monferrato showed greater surface runoff and soil erosion in the tilled inter-rows than in the grassed ones. Furthermore, the greater compaction of the soil due to the repeated transit of agricultural vehicles causes a considerable decrease in hydraulic conductivity, especially in the tilled inter-rows. From October 2016 to October 2017 a study was conducted to assess the factors that most influence compaction and hydraulic conductivity, depending on the management of the soil adopted (conventional tillage or grass cover) and the number of vehicles transits, through periodic measurements of resistance to penetration, bulk density, water content and hydraulic conductivity of the soil.

In this particularly dry period, the resistance to penetration was found to be correlated to the water content and the number of tractor passages, while the hydraulic conductivity of the soil to the water content, the bulk density and the resistance to penetration of the soil.

### **Parole chiave**

Suolo, compattamento, erosione, vigneto, conducibilità idraulica.

### **Keywords**

Soil, compaction, erosion, vineyard, hydraulic conductivity.

### **Introduzione**

La conservazione dell'acqua e del suolo, finalizzata a limitare le perdite e preservare la qualità di queste due fondamentali risorse, è una delle priorità per preservare qualsiasi sistema agricolo. Le colture arboree, e tra queste i vigneti, figurano tra i sistemi agricoli che sono in grado non solo di produrre prodotti primari, ma anche di fornire dei servizi ecosistemici importanti, quali la regolazione del clima e del ciclo idrologico (Aguilera et al., 2013), o al contrario di produrre impatti negativi quali il degrado del suolo, la diminuzione di biodiversità, la contaminazione o riduzione delle risorse idriche (Schneide and Krausmann, 2011). La sfida dei cambiamenti climatici, con previsioni che indicano nella regione mediterranea temperature in aumento e riduzione delle precipitazioni, associate ad eventi estremi quali siccità e precipitazioni intense (Jacob et al., 2014), non fa che aumentare la necessità di migliorare la sostenibilità ambientale di tali sistemi agricoli. L'erosione ed il compattamento del suolo sono tra le dieci maggiori minacce per il suolo identificate nel "2015 Status of the World's Soil Resources report" (FAO, 2015), poiché ad esse si devono la riduzione della fertilità del suolo e della disponibilità idrica, e quindi anche conseguenze sulla produttività, specialmente a medio-lungo termine.

La gestione del suolo adottata in un vigneto influenza fortemente la capacità di infiltrazione e ritenzione idrica del suolo ed il rischio di erosione (FAO, 2015). Inoltre il

traffico dei veicoli e delle macchine richieste per le operazioni meccanizzate della coltura avviene necessariamente su percorsi fissi, in modo particolarmente intenso dalla tarda primavera alla vendemmia. Questo traffico ha un effetto rilevante sul compattamento del suolo, sulle proprietà idrauliche, e di conseguenza, sul deflusso a scala di vigneto (Biddoccu et al., 2017). In questo lavoro sono presentati: (i) i risultati del monitoraggio di lungo periodo, per la valutazione dell'efficacia dell'inerbimento permanente come pratica per la conservazione di acqua e suolo in vigneto; (ii) i risultati preliminari di una serie di rilievi, effettuati per valutare l'effetto del traffico sul compattamento e sulle proprietà idrologiche del suolo in vigneto, considerando due diverse gestioni dell'interfila.

### **Materiali e Metodi**

Lo studio si basa sul monitoraggio effettuato dal CNR-IMAMOTER presso il Centro Sperimentale Vitivinicolo della Fondazione Agrion di Carpeneto (AL), nel Monferrato Ovadese (296 m s.l.m.). Nell'area di studio il clima è sublitoraneo, con precipitazioni media annua, misurata ad Ovada (187 m s.l.m.) nel periodo 1951-1990, di 965 mm. Il suolo è classificato come Typic Ustorthents, fine-loamy, mixed, calcareous, mesic (Soil Survey Staff, 2010), con tessitura da argillosa a franco-argillosa.

L'esperimento è stato condotto in due parcelle di vigneto con pendenza media del 15% ed esposizione SE. Dal 2000,

l'interfila dei due vigneti è stato gestito rispettivamente con lavorazione profonda (CT, ripuntatura fino ad una profondità di circa 0,25 m) ed inerbimento permanente (GC, sfalcio con trinciatrice), eseguite due volte l'anno, in primavera e in autunno. La maggior parte delle attività agricole in vigna è stata effettuata con trattori gommati o cingolati, con intensificazione dei passaggi dalla primavera alla vendemmia.

Nei filari oggetto di studio è presente dal 2000 un sistema di monitoraggio continuo delle precipitazioni, del deflusso e della perdita di suolo, come descritto in Biddoccu et al. (2016).

Da ottobre 2016 ad ottobre 2017 sono stati condotti ulteriori rilievi al fine di valutare i fattori che maggiormente influenzano il compattamento e la conducibilità idraulica, a seconda della gestione del suolo adottata (lavorazione o inerbimento) e del numero di transiti dei mezzi, attraverso misure periodiche della resistenza a penetrazione, densità apparente, contenuto idrico e conducibilità idraulica del suolo. Le misure sono state effettuate sia nell'orma, interessata dal passaggio di ruote o cingoli del trattore (indicato come T), che nel centro del filare, che è la porzione di terreno non interessata direttamente dal contatto con le ruote o i cingoli dei mezzi (indicata come NT).

La resistenza a penetrazione del suolo (PR) è stata misurata utilizzando un penetrometro dinamico, costruito secondo il progetto di Herrick e Jones (2002). Per ognuno dei quattro transetti sono stati ottenuti 5 profili di PR, e raccolti 9 campioni di suolo per misurare la densità apparente (BD) e il contenuto idrico del suolo (SWC), con un totale di 20 profili di resistenza alla penetrazione e 36 campioni di suolo per ogni rilevamento. Sono stati effettuati 10 rilievi, indicativamente a cadenza mensile, ottenendo un totale di 200 profili di PR e 360 campioni di suolo.

I valori di conducibilità idraulica del suolo a saturazione di campo ( $K_{fs}$ ) sono stati misurati con la tecnica "simplified falling head" (SFH), proposta da Bagarello et al. (2004). Per assicurare un flusso unidimensionale dell'acqua all'interno del suolo, un secondo cilindro è stato inserito concentricamente al primo. Bodhinayake et al. (2004) hanno dimostrato che la pendenza non influisce in modo significativo sulle misurazioni. La distribuzione di probabilità della  $K_{fs}$  è stata considerata log-normale, come comune per queste variabili (Warrick 1998; Bagarello & Sgroi, 2007). Sono stati considerati anche il numero di giorni trascorsi dalla lavorazione o trinciatura (ND), e il numero di passaggi di mezzi dall'ultima lavorazione (NP).

Con il programma IBM SPSS Statistics Data Editor (IBM Corp., Armonk, NY, USA), sono state fatte delle regressioni lineari, al fine di trovare quali variabili tra numero di giorni (ND), numero di passaggi (NP), contenuto idrico del suolo (SWC), densità apparente del suolo (BD), influenzano la resistenza alla penetrazione del suolo (PR), e quali variabili tra ND, NP, SWC, BD, PR, influenzano la conducibilità idraulica del suolo  $K_{fs}$  in ogni trattamento e posizione (GC-T, GC-NT, CT-T, CT-NT).

## Risultati e Discussione

Considerando l'intero periodo di monitoraggio dal 2000 al 2016, la precipitazione media annua è risultata pari ad 852 mm. Le precipitazioni sono più abbondanti nei mesi autunnali (circa il 40% della PMA) e minime nei mesi estivi (12%). Il deflusso superficiale è mediamente pari al 21% nella parcella di vigneto con lavorazione, mentre nella parcella con inerbimento permanente il ruscellamento superficiale è risultato essere quasi dimezzato (11%). In particolare il deflusso superficiale nel vigneto lavorato è risultato essere abbondante nei mesi invernali e primaverili (rispettivamente 35% e 23% delle precipitazioni). Nel periodo da dicembre a maggio sono stati registrati in media 118 mm di deflusso nel vigneto lavorato, a fronte di 49,5 mm nel vigneto inerbito. La copertura erbosa dell'interfila ha consentito una notevole riduzione del deflusso superficiale medio in tutte le stagioni (pari al massimo al 16% delle precipitazioni), ottenendo la massima efficacia in primavera, con una riduzione del ruscellamento del 61% rispetto al vigneto lavorato.

Nel vigneto lavorato, nonostante la rippatura autunnale, il deflusso superficiale in inverno risulta essere maggiore rispetto alle altre stagioni e rispetto al vigneto inerbito, poiché il deflusso si verifica generalmente per saturazione del suolo (Biddoccu et al., 2017). Nella stagione invernale il deflusso risulta massimo nonostante i valori di conducibilità idraulica misurati in campo siano in media più elevati, sia rispetto alle altre stagioni che rispetto alla gestione con inerbimento (Capello et al., 2018). Gaudin et al. (2010) hanno verificato attraverso misure dirette che il deflusso nel periodo invernale è la causa della minore ricarica idrica dell'intero profilo del suolo nel vigneto lavorato rispetto a quello inerbito, soprattutto nelle stagioni meno piovose.

La perdita di suolo media annua misurata nel periodo 2000-2016 è risultata essere pari a 6,6 Mg ha<sup>-1</sup> nella parcella di vigneto con lavorazione del suolo e 1,5 Mg ha<sup>-1</sup> nella

Tab.1 - Medie stagionali e annuali di precipitazioni (P), deflusso (RO), coefficiente di deflusso (RC), erosione nel periodo 2000-2016 e 2016-2017, in CT e GC.

Tab.1 - Seasonal and annual mean precipitation (P), runoff (RO), runoff coefficient (RC), erosion in the period 2000-2016 and 2016-2017, in CT and GC.

Medie	Periodo 2000-2016							Periodo 2016-2017						
	P (mm)	RO (mm)		RC (%)		Erosion (Mg/ha)		P (mm)	RO (mm)		RC (%)		Erosion (Mg/ha)	
		CT	GC	CT	GC	CT	GC		CT	GC	CT	GC	CT	GC
Inverno	197,7	69,5	31,4	35%	16%	0,5911	0,1521	141,2	1,3	1,6	0,9%	1,1%	0,0005	0,0003
Primavera	213,7	48,5	18,1	23%	8%	0,3232	0,1418	184,0	3,0	0,6	1,6%	0,3%	0,0039	0,0002
Estate	104,2	6,8	2,7	7%	3%	2,9815	0,2332	24,6	0	0	0	0	0	0
Autunno	336,5	52,9	38,2	16%	11%	2,7393	0,9837	218,8	1,4	1,5	0,6%	0,7%	0,0014	0,0027
Annuale	852,1	177,7	90,3	21%	11%	6,6352	1,5107	568,6	5,6	3,7	1,0%	0,6%	0,0058	0,0033

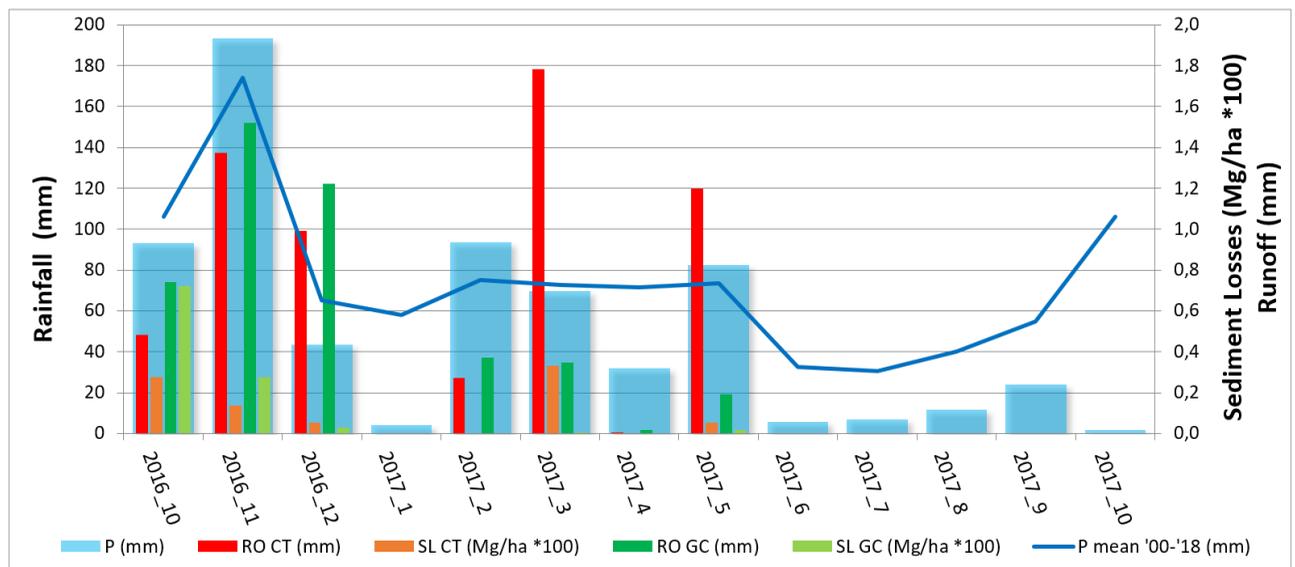


Fig.1 - Precipitazioni mensili (P) e medie del periodo 2000-2018 (P mean), deflusso (RO), perdita di suolo (SL) in CT e GC.

Fig.1 - Monthly precipitation (P) and mean precipitation in 2000-2018 period (P mean), runoff (RO), soil loss (SL) in CT and GC.

parcella con inerbimento, che ha quindi consentito di ridurre le perdite di suolo del 77%. Con riferimento alle varie stagioni, la maggior parte dell'erosione è avvenuta in estate ed autunno nel vigneto lavorato (rispettivamente 3 e 2,7 Mg ha<sup>-1</sup>) ed in autunno nel vigneto inerbito (1 Mg ha<sup>-1</sup>). Si tratta delle stagioni con precipitazioni maggiormente erosive, a causa dell'abbondanza delle precipitazioni (autunno) o della loro elevata intensità, come osservato da Bagagiolo et al. (2018). Tuttavia la notevole perdita di suolo tra giugno ed ottobre può anche essere legata ai frequenti passaggi di operatori e mezzi, che favoriscono la movimentazione di suolo anche in occasione di precipitazioni ridotte, come osservato nei vigneti della Mosella tedesca da Kirchhoff et al. (2017). L'effetto protettivo della copertura erbosa è risultato essere meno efficace in primavera e massimo in estate, con una riduzione, rispettivamente, del 56% e 92% della perdita di suolo media stagionale.

Il periodo novembre 2016 – ottobre 2017 è stato caratterizzato da precipitazioni notevolmente inferiori alla media (569 mm, ovvero 67% della PMA), in particolare nel periodo giugno-ottobre 2017. Di conseguenza, il deflusso superficiale misurato nel periodo considerato è stato inferiore all'1% delle precipitazioni ed anche la perdita di suolo è stata limitata a 5.8 e 3.3 kg ha<sup>-1</sup> nella parcella con interfila rispettivamente lavorato ed inerbito (quindi lo 0,1% e 0,2% rispetto ai valori medi del periodo 2000-2016). Anche nelle stagioni più secche l'inerbimento consente di ridurre le perdite di suolo rispetto alla gestione con lavorazione dell'interfila, come è stato osservato in vigneti in Portogallo e Spagna (Gómez et al., 2011; Marques et al., 2010), con precipitazione media annua inferiore ai 600 mm, dove la presenza di copertura ha permesso di limitare le perdite di suolo soprattutto in occasione delle precipitazioni più intense.

I dati ottenuti nel corso dei rilievi effettuati nel periodo ottobre 2016 – ottobre 2017 al fine di studiare l'effetto dei

passaggi dei mezzi agricoli nelle parcelle di vigneto con diversa gestione del suolo sono stati analizzati al fine di individuare quali sono i fattori che maggiormente influenzano il compattamento del suolo e la conducibilità idraulica nel corso dell'anno. Secondo la regressione lineare multipla effettuata sui dati rilevati nelle diverse posizioni (T e NT), la resistenza alla penetrazione PR è risultata essere correlata al contenuto idrico SWC e al numero di passaggi dei mezzi NP (Fig.2 e Tab.2). I modelli individuati risultano avere coefficienti di determinazione (R<sup>2</sup>) superiori a 0,85 in ogni trattamento e posizione ed esprimono la resistenza alla penetrazione (PR) del suolo in funzione del contenuto idrico del suolo (SWC) e del numero di passaggi (NP). Nella parcella GC si osserva come PR sia naturalmente più elevato, il che indica la migliore portanza del suolo inerbito. PR tende ad aumentare drasticamente soprattutto con il diminuire dell'umidità del suolo, mentre il crescente numero di passaggi è poco influente e, contrariamente a quanto ci si potrebbe aspettare, comporta una diminuzione della PR. Questo risultato si spiega con la stagione particolarmente secca in cui sono stati effettuate le misure, in cui i passaggi successivi dei mezzi agricoli si sono verificati su suolo con SWC decrescente, e quindi meno soggetto al compattamento.

Nella parcella di vigneto CT, invece, la regressione lineare multipla mostra chiaramente la relazione positiva tra PR e NP, evidente soprattutto nell'orma del filare. L'influenza dell'umidità del suolo è inferiore rispetto a GC e nell'orma del vigneto lavorato, la PR tende ad aumentare con valori più elevati di SWC. Nel caso del suolo lavorato, i valori crescenti di PR con l'aumento del traffico corrispondono ad un maggiore compattamento del suolo.

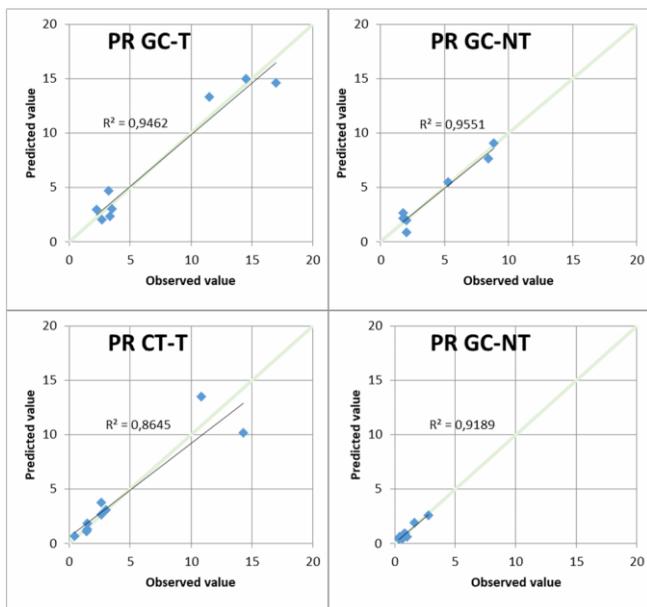


Fig.2 – Valori osservati e valori ottenuti dal modello.

Fig.2 – Observed value and predicted value.

Tab.2 - Riepilogo del modello di regressione lineare per PR nei due trattamenti e posizioni.

Tab.2 - Summary of the linear regression model for PR in the two plots and positions

Plot	Variable value			R <sup>2</sup> model
	Intercept	SWC	NP	
GC-T	22,752	-51,125	-0,095	0,946
GC-NT	18,061	-42,496	-0,559	0,955
CT-T	3,739	-8,666	0,725	0,865
CT-NT	0	1,433	0,178	0,919

I modelli ottenuti attraverso la regressione lineare per la conducibilità idraulica del suolo  $K_{fs}$  (Fig.3 e Tab.3) hanno coefficiente di determinazione compreso tra 0,467 e 0,724, con valori inferiori ottenuti nell'orma, e presentano diverse variabili in base alla posizione. Osservando i valori di  $\log K_{fs}$  misurati, si nota come questi siano stati nella quasi totalità compresi tra 1 e 3 in GC-T e superiori a 2 in GC-NT e CT-NT, mentre in CT-T spesso assumono valori inferiori a 1. Secondo il modello di regressione lineare, nell'orma della parcella lavorata (CT-T),  $\log K_{fs}$  tende ad aumentare con SWC, ma diminuisce notevolmente al crescere della densità apparente (BD). Anche nel centro dell'interfila (CT-NT),  $\log K_{fs}$  diminuisce al crescere della BD e della PR, ovvero con il maggiore compattamento del suolo. Nella parcella GC il comportamento è più complesso. Inaspettatamente  $\log K_{fs}$  assume valori più elevati con l'aumentare di BD (in GC-T) e di PR (in GC-NT). Nella parcella inerbita, sia la BD che la PR nei primi 15 cm di suolo sono influenzati dalla presenza delle radici e dalle condizioni di umidità, oltre che dalle effettive condizioni di compattamento del suolo. Inoltre nel corso della stagione estiva, il suolo secco appariva interessato da numerose fessurazioni, soprattutto in GC. Sia la presenza di apparati

radicali che di fessurazioni sono verosimilmente responsabili di valori più elevati di  $\log K_{fs}$  rispetto a CT.

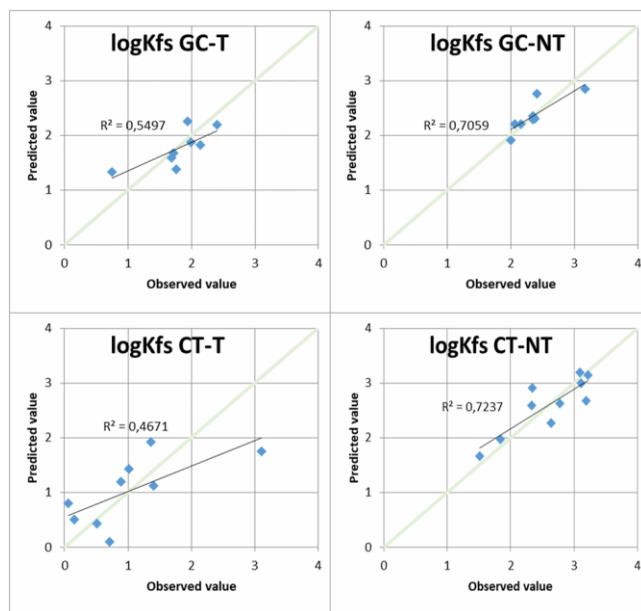


Fig.3 – Valori osservati e valori ottenuti dal modello.

Fig.3 – Observed value and predicted value.

Tab.3 - Riepilogo del modello di regressione lineare per  $\log K_{fs}$  nei due trattamenti e posizioni.

Tab.3 - Summary of the linear regression model for  $\log K_{fs}$  in the two plots and positions.

Plot	Variable value			R <sup>2</sup> model
	Intercept	BD	NG	
GC-T	Intercept	BD	NG	0,550
	-4,584	5,232	-0,002	
GC-NT	Intercept	SWC	PR	0,706
	0,803	3,161	0,175	
CT-T	Intercept	SWC	BD	0,467
	13,62	5,043	-10,42	
CT-NT	Intercept	BD	PR	0,724
	4,718	-1,223	-0,577	

Infine si è cercato di individuare quali fattori influenzino la BD, ma non è risultata nessuna correlazione evidente.

La complessità dei risultati ottenuti dai rilievi condotti nel periodo ottobre 2016 - ottobre 2017, è dovuta alla non linearità della relazione tra massimo compattamento possibile e contenuto idrico del suolo (Proctor, 1933) ed alle particolari condizioni del periodo monitorato, caratterizzato da una stagione con precipitazioni più scarse e suolo più asciutto rispetto alla media stagionale.

## Conclusioni

I risultati dei 17 anni di monitoraggio continuo dimostrano come la gestione del suolo con inerbimento permanente consenta di ridurre notevolmente il ruscellamento superficiale (-49%) e le perdite di suolo (-77%) medie annue rispetto al suolo lavorato. Anche nel periodo 2016-2017, l'inerbimento è risultato efficace nell'azione di

conservazione di acqua e suolo, sebbene in seguito alle precipitazioni inferiori alla media, sia il deflusso che l'erosione siano risultati essere minimi. In tale periodo, la resistenza a penetrazione del suolo è risultata essere particolarmente influenzata dal contenuto idrico SWC (in GC) e dal numero di passaggi dei mezzi NP (in CT). È stata individuata una relazione evidente tra conducibilità idraulica del suolo  $K_{fs}$  e BD (in CT), mentre le relazioni con le altre variabili considerate sono apparse più complesse, anche considerate le condizioni di elevata variabilità del contenuto idrico del suolo nel periodo di studio.

Lo studio sugli effetti della gestione dell'interfila del vigneto e del traffico agricolo sul compattamento e sulla conducibilità idraulica del suolo sarà approfondito con rilievi relativi a diverse condizioni climatiche, al fine di ottimizzare la gestione del suolo e del traffico per migliorare la conservazione della risorsa idrica, anche in vista dei cambiamenti climatici prospettati.

### **Ringraziamenti**

Grazie a Giancarlo Padovan, Giorgia Bagagiolo e Guarino Benvenù per il supporto nei rilievi in campo; allo staff del "Centro sperimentale Vitivinicolo Tenuta Cannona", che ha collaborato nella gestione dei vigneti e nella raccolta campioni.

### **Bibliografia**

Aguilera E., Lassaletta L., Gattinger A., Gimeno B. S., 2013. Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 168: 25-36.

Bagagiolo G., Biddoccu M., Rabino D., Cavallo E., 2018. Effects of rows arrangement, soil management, and rainfall characteristics on water and soil losses in Italian sloping vineyards. *Environmental Research*, 166: 690-704.

Bagarello V., Sgroi A., 2007. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil. *Soil Tillage Res.* 94: 283-294.

Bagarello, V., Iovino, M., Elrick, D., 2004. A simplified falling-head technique for rapid determination of field-saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 66-73.

Biddoccu M., Ferraris S., Pitacco A., Cavallo E., 2017. Temporal variability of soil management effects on soil hydrological properties, runoff and erosion at the field scale in a hillslope vineyard, North-West Italy. *Soil and Tillage Research* 165: 46-58.

Biddoccu, M., Ferraris, S., Opsi, F., Cavallo, E., 2016. Long-term monitoring of soil management effects on runoff and soil erosion in sloping vineyards in Alto Monferrato (North-West Italy). *Soil Till. Res.* 155:176-189.

Bodhinayake W., Si B.C., Noborio K., 2004. Determination of hydraulic properties in sloping landscapes from tension and double-ring infiltrometers. *Vadose Zone J.* 3: 964-970.

Capello G., Biddoccu M., Cavallo E., 2018. Seasonal variability and effect of tractor passes on soil compaction, field-saturated hydraulic conductivity, runoff and soil erosion in tilled and grassed vineyards. Atti "SIXTH INTERNATIONAL CONGRESS ON MOUNTAIN AND STEEP SLOPE VITICULTURE", San Cristobal de la Laguna (Isla de Tenerife) - España, 26 - 28 April 2018.

FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.

Gaudin R., Celette F., Gary C., 2010. Contribution of runoff to incomplete off season soil water refilling in a Mediterranean vineyard. *Agricultural Water Management*, 97: 1534-1540.

Gómez J. A., Llewellyn C., Basch G., Sutton P. B., Dyson J. S., Jones C.A., 2011. The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use and Management*, 27: 502-514.

Herrick J. E. and Jones T. L., 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *556 Soil Sci Soc Am J* 66: 1320-1324.

Jacob D., et al. 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change* 14: 563-578.

Kirchhoff M., Rodrigo-Comino J., Seeger M., Ries J. B., 2017. Soil erosion in sloping vineyards under conventional and organic land use managements (Saar-Mosel Valley, Germany). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 207: 119-140.

Marques M. J., García-Muñoz, S., Muñoz-Organero G., Bienes R., 2010. Soil conservation beneath grass cover in hillside vineyards under mediterranean climatic conditions (MADRID, SPAIN). *Land Degradation & Development*, 21: 122-131.

Proctor R., 1933. Fundamental principles of soil compaction. *Eng. News Rec.* 111: 245-248, 286-289, 348-351.

Scheidel A., Krausmann F., 2011. Diet, trade and land use : a socio-ecological analysis of the transformation of the olive oil system. *Land Use Policy* 28: 47-56.

Soil Survey Staff, 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, D. C.

Warrick AW., 1998. Spatial variability. Hillel D, editor.  
Environmental Soil Physics. San Diego, CA: Academic  
Press, p. 665-675.

# VALUTAZIONE DEL DRENAGGIO IDRICO IN AREA COLLINARE VITIVINICOLA PER MEZZO DEL MODELLO CRITERIA 3D PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE E DEL RISCHIO CONTAMINAZIONE DA FITOFARMACI E FERTILIZZANTI AZOTATI.

## *EVALUATION OF WATER DRAINAGE IN HILLY VINEYARDS BY USE OF CRITERIA 3D MODEL FOR GROUNDWATER AQUIFER CHARACTERISATION AND ITS CONTAMINATION RISK BY PESTICIDES AND NITROGEN FERTILIZERS*

Nicoleta Suciu<sup>1\*</sup>, Gabriele Antolini<sup>2</sup>, Fausto Tomei<sup>2</sup>, Marco Marcaccio<sup>2</sup>, Elisabetta Russo<sup>2</sup>, Marcello De Crema<sup>2</sup>, Emanuela Peroncini<sup>2</sup>, Ettore Capri<sup>1</sup>, Roberta Zambito Marsala<sup>1</sup>, Camilla Farolfi<sup>1</sup>, Vittorio Marletto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DISTAS-Università Cattolica del Sacro Cuore, via Emilia Parmense 84, 29122-Piacenza.

<sup>2</sup> ARPAE-Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia-dell'Emilia-Romagna, via Po 5, 40139-Bologna;

\*nicoleta.suciu@unicatt.it

### **Abstract**

A hilly area in the province of Piacenza, characterized by the maximum vineyard cultivation area of Emilia-Romagna Region, as part of the H2020 WaterProtect project, was designed to verify the potential contamination of groundwater by pesticides and nitrogen fertilizers. The study was carried out considering a total area of about 7 km<sup>2</sup> in the Tidone Valley, through the qualitative and quantitative monitoring of 5 wells representatives of the phreatic aquifer, which was not hydrogeologically characterized before. Using the CRITERIA-3D water balance model, water drainage and possible pollutants leaching to groundwater was assessed. The simulation period considered is September 2015 -December 2018, that includes very different meteorological and climatic conditions, allows to obtain scenario simulations useful to highlight the impact of the increasing climatic variability on land use and the effects on the groundwater resources.

### **Parole chiave**

Viticultura, acque sotterranee, drenaggio, prodotti fitosanitari, fertilizzanti azotati

### **Keywords**

Vineyards, groundwater, drainage, pesticides, nitrogen fertilizers

### **Introduzione**

L'agricoltura è una delle principali fonti di contaminazione delle acque superficiali e sotterranee, relativamente a prodotti fitosanitari e fertilizzanti (EEA, 2018). In questo contesto, il progetto WaterProtect della linea di finanziamento Europeo Horizon 2020, ha l'obiettivo di migliorare la qualità delle acque superficiali e sotterranee, tramite l'implementazione di misure di mitigazione e migliori pratiche di gestione. Il progetto si articola territorialmente in sette casi studio, *Action Lab*, localizzati nelle sette nazioni partner del progetto, Belgio (coordinatore del progetto), Danimarca, Irlanda, Polonia, Romania, Spagna, Italia (<https://water-protect.eu>). Per il caso studio Italia è stata selezionata un'area collinare ubicata nella Val Tidone, Provincia di Piacenza, zona con antica tradizione vitivinicola che ancora oggi rappresenta il territorio con la massima superficie a vite della Regione Emilia-Romagna ([www.bevisicuro.info/project/waterprotect/](http://www.bevisicuro.info/project/waterprotect/)).

L'area del caso di studio copre i bacini idrografici del Rio Lora-Carogna, del Rio Carona-Boriacco, e una parte del bacino del Torrente Tidone, per una superficie totale di 206.72 km<sup>2</sup> e 29,41 km<sup>2</sup> di vigneto (ISTAT, 2016 - <https://www.istat.it>). L'area insiste sul territorio di cinque comuni (Alta Val Tidone, Ziano Piacentino, Nibbiano

Piacentino, Borgonovo Val Tidone e Castel San Giovanni), dove il comune di Ziano Piacentino ha la massima densità di superficie a vite. Nonostante le acque superficiali e sotterranee della Regione Emilia-Romagna siano monitorate tramite specifiche reti regionali, solo poche stazioni erano presenti nella zona-caso-studio e soprattutto l'acquifero superficiale freatico non risultava idrogeologicamente caratterizzato. Inoltre, specifici studi relativi al potenziale impatto della viticoltura sulla qualità delle acque sotterranee non sono mai stati condotti fino ad allora nonostante ci sia evidenza di presenza di residui di fitofarmaci e nitrati anche superiori ai limiti di legge in campioni ubicati più a valle dell'area di studio e appartenenti alle reti di monitoraggio regionali. Di conseguenza, l'obiettivo specifico del caso studio Italia è stato quello di valutare l'impatto della viticoltura sulla contaminazione generale delle acque sotterranee e proporre idonee misure di mitigazione e implementare pratiche di gestione sostenibili.

A tale proposito, una delle azioni prioritarie nella fase d'impostazione dello studio è stata la predisposizione di una specifica rete di monitoraggio qualitativo e quantitativo, costituita da 26 pozzi appartenenti all'acquifero

superficiale freatico, ubicati nella zona d'interesse, di cui tre ad uso potabile (Fig. 1).

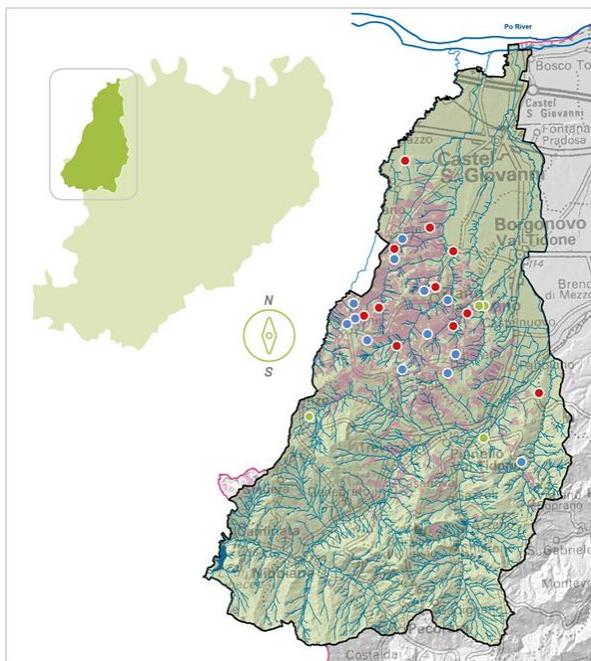


Fig. 1 - Area di studio e relativa rete di monitoraggio.  
Fig.1 – Action lab area and monitoring network

La rete di monitoraggio è stata impostata secondo un criterio monte-valle idrologico rispetto alle numerose vallicole presenti nel territorio, considerate come unità schematica di monitoraggio (Fig. 2).



Fig. 2 - "Vallicola" come unità di monitoraggio e criterio monte-valle idrologico.

Fig. 2 – "Vallicola" as monitoring unit and upstream-downstream criterium.

Di seguito, per la caratterizzazione del deflusso e del trasferimento in falda di eventuali contaminanti, utilizzati nella pratica vitivinicola, era indispensabile indagare il modello concettuale dell'acquifero sotteso.

Di conseguenza, lo scopo del presente lavoro è di utilizzare il modello di bilancio idrico CRITERIA-3D per la simulazione della circolazione idrica nei primi metri di sottosuolo della zona di studio.

## Materiali e Metodi

CRITERIA-3D (Bittelli *et al.*, 2010) è un modello di bilancio idrico fisicamente basato che risolve in modo accoppiato i flussi idrici superficiali e sottosuperficiali in un dominio tridimensionale. I flussi idrici superficiali sono descritti dall'approssimazione parabolica bidimensionale dell'equazione di St. Venant, usando la formula di Manning per descrivere il moto; i flussi sub-superficiali sono descritti dalla equazione di Richards. Il modello è risolto con una formulazione alle differenze finite integrate e per la sua complessità computazionale è adatto allo studio di piccoli bacini.

Ogni orizzonte del suolo è caratterizzato da una curva di ritenzione idrica, utilizzando una versione modificata dell'equazione di van Genuchten (Ippisch *et al.*, 2006). I processi di immagazzinamento e infiltrazione dell'acqua sono regolati dalla differenza di contenuto idrico e conseguentemente di potenziale matriciale tra i singoli elementi (voxel) di suolo in cui è suddiviso il dominio di calcolo tridimensionale. Ogni elemento di suolo, a seconda del suo contenuto idrico e di quelli circostanti, può assorbire acqua o trasferirla agli elementi adiacenti.

L'acqua può uscire dal dominio di calcolo per evaporazione negli strati superficiali, per traspirazione nel suolo radicato da parte della vegetazione presente, per ruscellamento superficiale oltre il contorno del sistema, per drenaggio profondo quando l'acqua supera il limite del suolo utilizzabile dalle piante e raggiunge il substrato roccioso.

A seconda delle caratteristiche del suolo, del suo contenuto idrico, della distribuzione dell'apparato radicale e della fase fenologica della coltura, l'acqua contenuta nel suolo è più o meno disponibile per la pianta, influenzando la sua capacità traspirativa. Tutti questi fenomeni costituiscono nel loro complesso il bilancio idrico del suolo.

Il modello CRITERIA-3D è stato già utilizzato per la descrizione dei flussi idrici in aree viticole all'interno del progetto europeo FP7 Vintage. Per la caratterizzazione dei suoli sono stati utilizzati i dati della carta pedologica della Regione Emilia-Romagna (Fig.4); i dati meteo utilizzati nella simulazione provengono dalla rete osservativa regionale gestita da Arpa (www.arpa.it/sim/).

## SELEZIONE SUB-AREA PROGETTO

Considerando che l'area progetto risultava troppo estesa per poter procedere con le elaborazioni mediante l'utilizzo del modello previsionale di bilancio idrico CRITERIA 3D, al suo interno è stata selezionata una sub-area di circa 7 km<sup>2</sup> che soddisfa i seguenti requisiti: (i) contiene almeno una vallicola che intercetta uno dei corpi idrici superficiali principali (Rio Carona), (ii) contiene un numero congruo di pozzi della rete individuata, (iii) ha una copertura ottimale di dati idro-pluviometrici, provenienti dalla rete regionale, (iv) contiene almeno un pozzo ad uso potabile (Fig. 3).

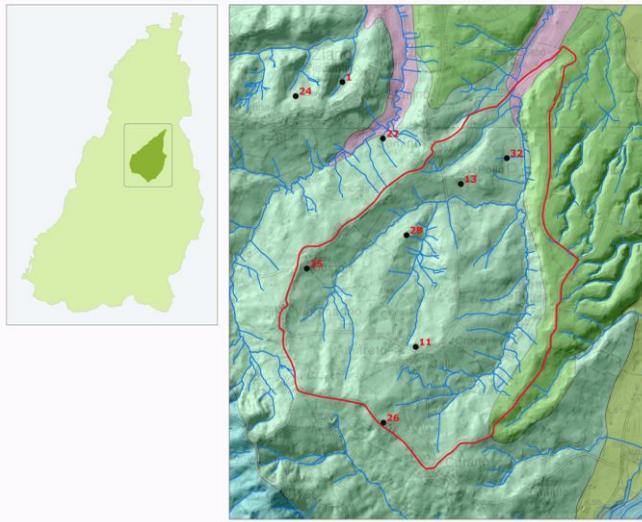


Fig. 3 – Sub-area di studio.

Fig. 3 – Study sub-area.

La sub-area presenta inoltre le tipologie di suoli rappresentate in Fig. 4, di tipo argilloso e argilloso-limoso, che sono rappresentative dei suoli che si riscontrano mediamente nell'intera area di studio.

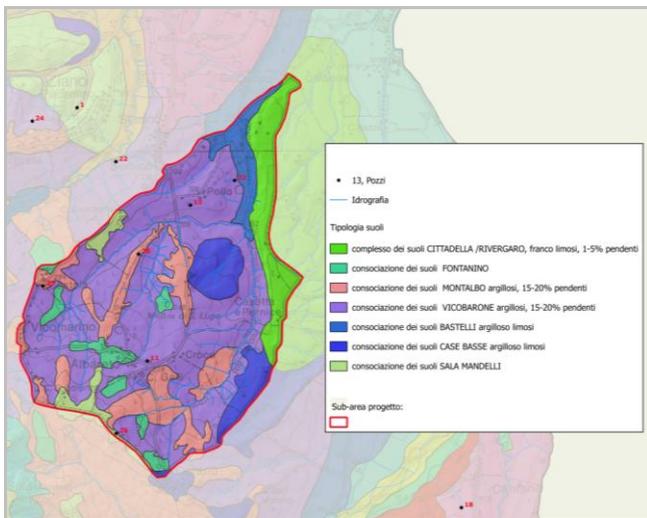


Fig. 4 – Tipologia dei suoli nella sub-area di studio.

Fig. 4 –Type of soils in the study sub-area.

La sub-area è pertanto stata delimitata utilizzando i limiti idrografici del bacino drenato dalle vallicole presenti che confluiscono nel corso d'acqua principale (Rio Carona). Le acque sotterranee considerate nello studio sono quelle superficiali freatiche la cui alimentazione è determinata dalle precipitazioni e in prossimità dei corsi d'acqua dal rapporto idrologico con questi ultimi. Considerando le pendenze significative dei versanti e la tipologia di suoli, il cui spessore non supera i 3 metri, le acque sotterranee defluiscono verso valle fino a raggiungere i depositi porosi delle alluvioni vallive dei corpi d'acqua principali, come quello del Rio Carona nel caso specifico. La morfologia del basamento determina inoltre le zone di alto morfologico,

dove la falda tende a defluire ed esaurirsi, e dove invece la presenza di locali depressioni permette la permanenza/ristagno delle acque sotterranee anche nei periodi siccitosi. Sono queste le zone dove sono ubicati i pozzi perenni a grande diametro, tra i quali i 5 utilizzati nello studio.

## Risultati e Discussione

La simulazione è stata eseguita su un periodo di circa 3 anni, dal settembre 2015 al dicembre 2018; periodo che include condizioni meteorologiche molto diverse, tra cui l'annata siccitosa del 2017. Il modello produce come output mappe, a passo giornaliero, relative alle grandezze del sistema suolo-pianta-atmosfera; in particolare quelle di maggiore interesse per il caso di studio sono: contenuto idrico e potenziale matriciale del suolo a varie profondità, drenaggio profondo e flusso laterale sottosuperficiale.

L'andamento di queste grandezze verrà analizzato e confrontato con gli inquinanti osservati, per valutare relazioni e conseguenti possibili prescrizioni (ad esempio, limitare i trattamenti quando il suolo è vicino a saturazione e quindi è più probabile il deflusso in falda degli inquinanti in seguito alle successive precipitazioni).

## Conclusioni

Il modello di bilancio idrico CRITERIA-3D è stato parametrizzato per la simulazione della circolazione idrica nei primi metri di suolo nell'area caso di studio. Vista la complessità computazionale del calcolo si è reso necessario un ridimensionamento della superficie presa in considerazione. La nuova sub-area contiene due vallicole che intercettano uno dei corpi idrici principali e cinque pozzi, di cui uno di acqua potabile. Sono state effettuate simulazioni per un periodo di tre anni, tra cui l'anno 2017 estremamente siccitoso. I risultati del drenaggio profondo e del flusso laterale sottosuperficiale assieme ai risultati del monitoraggio (presenza nitrati e pesticidi) permetteranno di valutare il rischio di contaminazione delle acque sotterranee da parte di composti chimici utilizzati in viticoltura.

## Bibliografia

- European Environmental Agency (EEA), 2018. European waters assessment of status and pressure 2018. Luxembourg: Publication Office of the European Union, 85 pp.
- Bittelli M., Tomei F., Pistocchi A., Flury M., Boll J., Brooks E.S., Antolini G., 2010. Development and testing of a physically based, three-dimensional model of surface and subsurface hydrology. *Advances in water resources*, 33: 106-122.
- Ippisch, O., Vogel, H. J., & Bastian, P., 2006. Validity limits for the van Genuchten–Mualem model and implications for parameter estimation and numerical simulation. *Advances in water resources*, 29(12): 1780-1789.

# TREND DELLA SICCA' AGRICOLA IN ALCUNI AREALI DELLE REGIONI UMBRIA E ABRUZZO

## TREND OF THE AGRICULTURAL DROUGHT IN SOME AREAS OF THE UMBRIA AND ABRUZZO REGIONS

Lorenzo Vergni<sup>1</sup>, Bruno Di Lena<sup>2\*</sup>, Alessandro Chiaudani<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari, Ambientali, Borgo XX Giugno 74, Perugia

<sup>2</sup> Regione Abruzzo-Centro Agrometeorologico regionale, Contrada Colle Comune Scerni (Ch)

<sup>3</sup> Dipartimento di Ingegneria e geologia "Ingeo" Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara

\*[bruno.dilena@regione.abruzzo.it](mailto:bruno.dilena@regione.abruzzo.it)

### Abstract

In this work we analyze the trends of agricultural drought in some locations of the Umbria and Abruzzo regions over the period 1951-2018. In both areas, on the basis of the Standard Precipitation Index (SPI), there is a tendency towards an increase in agricultural drought in the autumn-winter period, more marked in the Abruzzo region than in Umbria. The calculation of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) highlights critical situations in the spring-summer period in several Umbrian stations and in Avezzano (Abruzzo region). The reason for this tendency can be found in the increase in reference evapotranspiration, which in turn depends on the positive thermometric trends, particularly evident in the last 30 years.

### Parole chiave

Siccità agricola, Indici SPI e SPEI

### Keywords

Agricultural droughts, SPI and SPEI indices

### Introduzione

La siccità è una condizione temporanea e relativa, che comporta un decremento dell'acqua disponibile in un particolare periodo e per una particolare zona (Wilhite, 1993). A causa dei cambiamenti climatici si registra una tendenza all'incremento dei fenomeni di scarsità idrica in diverse aree del Mediterraneo (Caloiero *et al.*, 2018).

Uno degli indici statistici più utilizzati per la misura della siccità in una località è lo Standardized Precipitation Index (SPI), proposto da McKee *et al.* (1993). L'indice SPI, il cui calcolo richiede le sole serie storiche precipitazione mensile, esprime in termini di variabile standard Z, gli scostamenti delle precipitazioni dai valori attesi. L'effetto combinato delle precipitazioni e delle temperature viene spesso analizzato mediante l'impiego dell'indice SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) (Vicente-Serrano *et al.*, 2010), analogo a SPI, ma che introduce anche l'effetto della componente evapotraspirativa nel monitoraggio degli eventi siccitosi.

Entrambi gli indici possono essere quantificati con riferimento a diverse scale temporali (tipicamente 1, 3, 6, 12, 24 mesi). In particolare, le scale temporali fino a 6 mesi possono essere ritenute adatte per descrivere l'eventuale presenza di condizioni di siccità agricola (Buttafuoco e Caloiero, 2014), dato che questo fenomeno risente in tempi relativamente brevi delle anomalie termo-pluviometriche.

Il presente lavoro analizza i trend della siccità agricola in alcuni areali delle regioni Umbria e Abruzzo confrontando i suddetti indici.

### Materiali e Metodi

Lo studio climatico sulla siccità agricola è stato svolto utilizzando i dati termo-pluviometrici rilevati, nell'arco temporale 1951-2018, dai Servizi Idrografici Regionali delle regioni Umbria e Abruzzo in 23 località di cui 15 abruzzesi e 8 umbre. La tabella 1 indica le stazioni divise per regione con indicazione dell'indice calcolato per ciascuna di esse, mentre la loro posizione geografica è rappresentata nelle figure 1 e 2. Come risulta dalla tabella 1, per molte stazioni non è stato possibile calcolare l'indice SPEI, a causa della mancanza di serie termometriche adeguate.

I dati termo-pluviometrici sono stati sottoposti ai controlli di consistenza interna e persistenza temporale prima di essere impiegati per i calcoli successivi.

Gli indici SPI e SPEI sono stati calcolati per le scale brevi di interesse agricolo: trimestrale di marzo, semestrale di marzo, trimestrale di giugno, trimestrale di settembre, semestrale di settembre e trimestrale di dicembre.

A tale scopo sono state utilizzate le funzioni disponibili nella libreria SPEI di R (Begueira e Vicente-Serrano, 2017).

L'evapotraspirazione di riferimento è stata determinata con la formula di Hargreaves (Hargreaves e Samani, 1985) adattata, per la stazione di Avezzano, alle condizioni climatiche locali, caratterizzate da forti escursioni termiche giornaliere durante il periodo estivo (Di Lena e Acutis, 2002)

L'analisi dei trend dell'indice SPI è stata effettuata con il test non parametrico di Mann- Kendall. (Mann 1945; Kendall 1975).

Lo stimatore non parametrico Theil-Sen (Theil., 1950; Sen., 1968), è stato impiegato per valutare la pendenza della retta interpolante i dati.

La libreria zyp (Bronaugh e Werner, 2019), contenuta nel software statistico R, è stata impiegata sia per il calcolo dello stimatore non parametrico Theil-Sen, che per l'applicazione del test di Mann-kendall.

L'impiego del modello semi-empirico "piecewise linear regression" (Neter. *et al.* 1990), presente nella libreria "segmented" del software R (Muggeo, 2003, 2008), ha permesso inoltre di determinare il periodo in corrispondenza del quale si rilevava una brusca variazione della pendenza delle rette di regressione.

Tab.1 – Elenco degli indici calcolati in ogni stazione

Tab.1 – List of the indices computed at each station

Regione	Località	SPI	SPEI
Abruzzo	Scerni	x	x
	Cupello	x	
	Bomba	x	
	Montazzoli	x	
	Catignano	x	
	Pescara	x	
	Chieti	x	
	Alanno	x	
	Arsita	x	
	Giulianova	x	
	Teramo	x	
	Sulmona	x	
	L'Aquila	x	
	Villa. S. Lucia	x	
	Avezzano	x	x
Umbria	Todi	x	x
	Spoletto	x	x
	Terni	x	x
	Orvieto	x	x
	Gubbio	x	x
	Compignano	x	x
	Città di castello	x	x
	Perugia	x	x

## Risultati e Discussione

L'analisi dei trend dello SPI mette in risalto una tendenza all'incremento della siccità agricola nel periodo autunno-invernale, più marcata nella regione Abruzzo rispetto all'Umbria. Nel primo territorio, relativamente allo SPI trimestrale di marzo, si registrano trend in diminuzione in 13 stazioni su 15, di cui due significativi nelle località di Cupello e Arsita (Figura 3 A).

Per quanto riguarda lo SPI semestrale di marzo si rilevano trend in diminuzione in 11 stazioni su 15, di cui tre significativi nelle località di Cupello e Arsita e L'Aquila (Fig.3B).

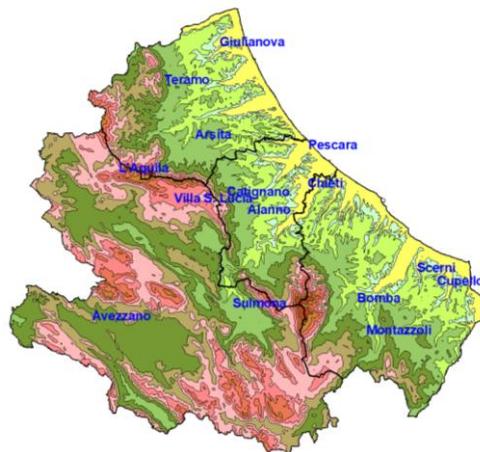


Fig.1 – Localizzazione delle stazioni nella regione Abruzzo

Fig.1 – Location of the stations considered in Abruzzo



Fig. 2 – Localizzazione delle stazioni nella regione Umbria

Fig.2 - Location of the stations considered in Umbria

Nel periodo autunnale, valutato con lo SPI trimestrale di dicembre (Fig. 3C), si rilevano 12 trend in diminuzione su 15 di cui due significativi sempre nella provincia dell'Aquila.

La riduzione delle precipitazioni nei mesi autunno-invernali in questa regione era stata già evidenziata in altri studi analizzando serie temporali di minore durata (Di Lena *et al.*; 2012; 2014) e pertanto si conferma il trend.

Nella regione Umbria, per lo SPI trimestrale di marzo, SPI semestrale di marzo e SPI trimestrale di dicembre si rilevano trend in diminuzione in 6 località su 8. (Fig.3) La maggiore criticità riguarda la stazione di Terni dove tale condizione è significativa nelle prime due finestre temporali.

L'analisi dello SPI per le altre finestre temporali primaverili estive e autunnali nelle due regioni non evidenzia trend significativi.

In alcune stazioni (Tab.1), l'analisi dei trend è stata condotta anche con l'indice SPEI, permettendo così di confrontare i risultati con quelli ottenuti mediante SPI. Per i periodi autunno-invernali i due indici risultano in buon accordo, probabilmente anche a causa del modesto

contributo dell'evapotraspirazione rispetto alla precipitazione in tali periodi.

semestrale di settembre (Tab.2) sono state svolte ulteriori analisi sulle tendenze termometriche mediante piecewise linear regression.

Tab.2 – Risultati del test di Mann-Kendall applicato allo SPEI semestrale di settembre. Il livello di significatività è indicato come segue: ns  $P\text{-value} > 0,10$ ; +  $P\text{-value} \leq 0,10$ ; \*  $P\text{-value} \leq 0,05$ .

Tab.2 – Results of the Mann-Kendall test applied to the half-year SPEI of September. The significance level is indicated as follows: ns  $P\text{-value} > 0,10$ ; +  $P\text{-value} \leq 0,10$ ; \*  $P\text{-value} \leq 0,05$ .

Stazione	Test Z	significatività
<b>Avezzano</b>	<b>-2,24</b>	*
Scerni	0,61	ns
Todi	-0,28	ns
<b>Spoletto</b>	<b>-2,23</b>	*
Terni	-0,12	ns
Orvieto	-1,33	ns
<b>Gubbio</b>	<b>-1,74</b>	+
Compignano	-1,27	ns
<b>Città Di Castello</b>	<b>-1,91</b>	+
<b>Perugia</b>	<b>-2,49</b>	*

Tab.3 Risultati della piecewise-regression sulle serie termometriche di aprile-settembre; bp è l'eventuale anno di breakpoint significativo (in base al test di Davies con  $\alpha=10\%$ , Muggeo 2008). Nel caso di breakpoint significativo sono riportati i coefficienti angolari delle due sottoserie, altrimenti viene riportato il singolo coefficiente angolare (i valori in grassetto sono significativi al 10%).

Tab. 3 Results of piecewise regression for the thermometric series of the period April-September; bp is the significant breakpoint year (on the basis of a Davies test with Muggeo, 2008). In case of significant breakpoint, the slopes of the two subperiods are reported; otherwise the slope is for the whole series. Slopes in bold are significant ( $\alpha=10\%$ ).

Stazione	Variabile	bp	slope1	slope2
Avezzano	Tmin	1989	<b>-0.08</b>	<b>0.08</b>
	Tmax	1990	0.03	<b>0.09</b>
	Tmed	1990	-0.02	<b>0.09</b>
Città di Castello	Tmin	1977	-0.03	<b>0.07</b>
	Tmax	1972	<b>-0.15</b>	<b>0.09</b>
	Tmed	1976	<b>-0.09</b>	<b>0.05</b>
Perugia	Tmin	1978	-0.03	<b>0.05</b>
	Tmax	1977	<b>-0.08</b>	<b>0.11</b>
	Tmed	1977	<b>-0.06</b>	<b>0.08</b>
Spoleto	Tmin	-	<b>0.046</b>	
	Tmax	-	<b>0.043</b>	
	Tmed	-	<b>0.045</b>	
Gubbio	Tmin	1978	<b>-0.06</b>	<b>0.03</b>
	Tmax	1969	<b>-0.19</b>	<b>0.05</b>
	Tmed	1976	<b>-0.09</b>	<b>0.05</b>

Fig. 3 Trend dello SPI trimestrale di marzo (A), semestrale di marzo (B) e trimestrale di dicembre (C) in Abruzzo and Umbria. Le frecce in basso indicano trend decrescenti mentre quelle in alto denotano trend crescenti. Le frecce piene indicano trend significativi con  $p\text{-value} < 0,10$ .

Fig. 3 Trends of the SPI for the March quarter (A), the half-year of March (B) and the December quarter (C) in Abruzzo and Umbria. The up and down arrows indicate increasing and decreasing trends respectively. The full arrows indicate significant trends with  $p\text{-value} < 0.10$ .

Al contrario di SPI, lo SPEI mette in risalto una tendenza all'incremento significativo della siccità agricola nel periodo primaverile estivo nelle stazioni umbre di Spoleto, Gubbio, Città di Castello, Perugia e in quella abruzzese di Avezzano. (Tab. 2). Questa differenza è presumibilmente da ricercare in corrispondenti trend positivi dell'evapotraspirazione, a sua volta dipendenti da trend positivi nelle temperature. Per questo motivo, per le stazioni con i trend negativi significativi nello SPEI

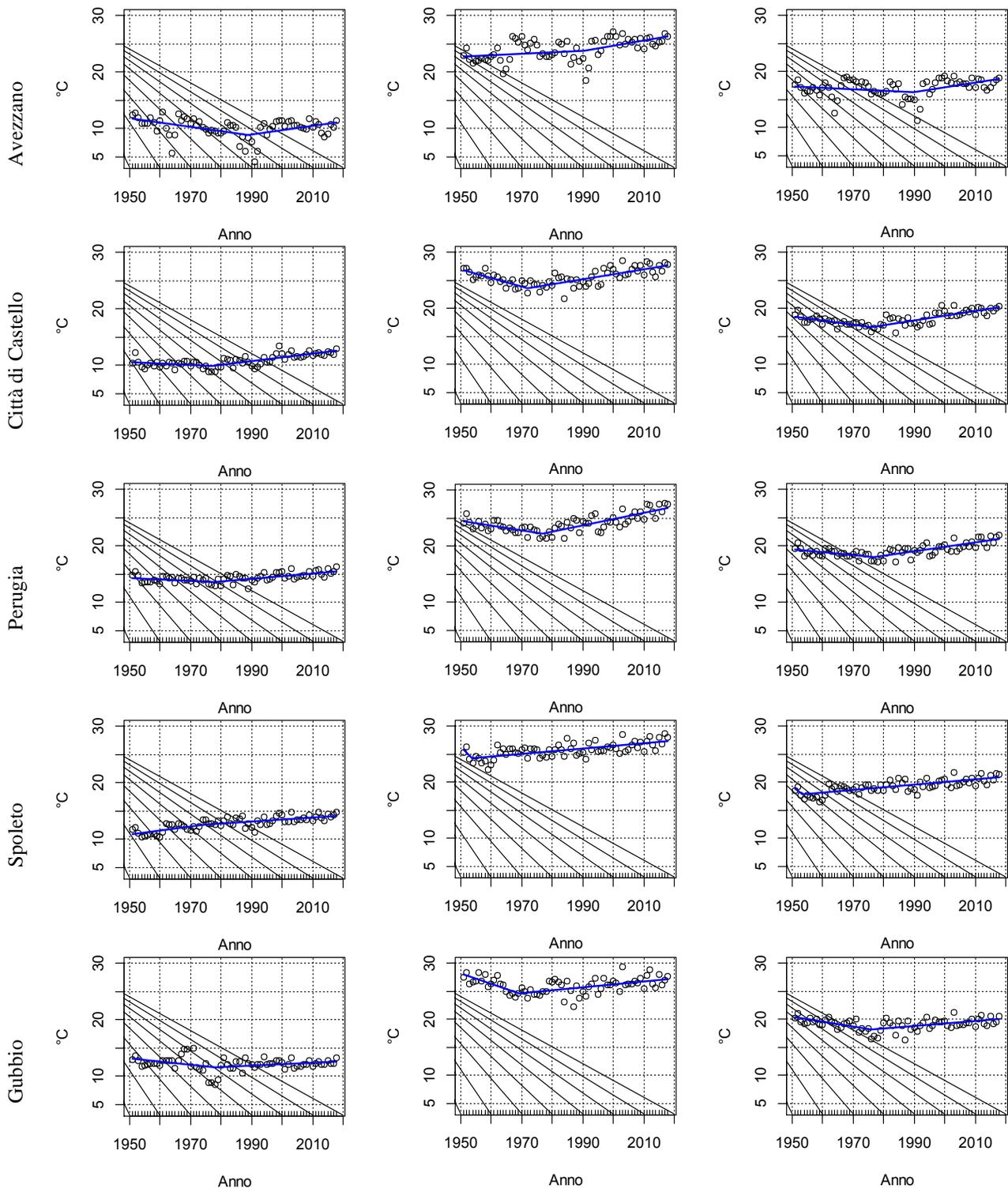


Fig. 4 Evoluzione, in ordine da sinistra a destra, delle temperature minime, massime e medie di alcune località umbre e abruzzesi nel periodo aprile-settembre.

Fig. 4 Evolution, in order from left to right, of the minimum, maximum and mean temperatures at some stations of the Abruzzo and Umbria regions in the period April-September.

Tale tecnica evidenzia un deciso incremento dei valori termici, in diversi casi a partire dagli anni '80, che di riflesso ha certamente determinato l'aumento dell'evapotraspirazione di riferimento (Fig. 4; Tab. 3)

Il cambiamento climatico a partire degli anni '80 potrebbe essere stato determinato anche da un netto cambiamento di fase della circolazione atlantica come evidenziato dalla differenza di pressione atmosferica tra Gibilterra e l'Islanda

(indice NAO). Quest'ultimo ha assunto valori positivi nel suddetto periodo, evidenziando una prevalenza delle correnti occidentali, rispetto a quelle provenienti da est verso ovest (Werner *et al.*, 2000).

## Conclusioni

L'analisi della siccità nelle due regioni esaminate mette in evidenza, per quanto riguarda lo SPI, una tendenza all'accentuazione del fenomeno nel periodo autunno invernale, mentre per lo SPEI le maggiori criticità si registrano nel periodo primaverile estivo.

Si sottolinea che le valutazioni sul fenomeno risentono della procedura esaminata; tuttavia, alla luce dei cambiamenti climatici in atto, si ritiene che una corretta valutazione del deficit idrico e del suo impatto sulle produzioni agricole, non possa prescindere dal considerare anche le temperature o nella quantificazione degli indici di siccità.

## Bibliografia

- Beguèria S., Vicente-Serrano S. M. 2017. SPEI: Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index. R package version 1.7. <https://CRAN.R-project.org/package=SPEI>.
- Bronaugh D. & Werner A. for the Pacific Climate Impacts Consortium, 2019., zyp: Zhang + Yue-Pilon Trends Package. R package version 0.10-1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=zyp>.
- Buttafuoco G., Caloiero T., 2014. Drought events at different timescales in southern Italy (Calabria). *Journal of Maps*, 10:4, 529-537.
- Caloiero T., Veltri S., Caloiero P., Frustaci F., 2018. Drought Analysis in Europe and in the Mediterranean Basin Using the Standardized Precipitation Index *Water* 2018, 10(8):1043.
- Di Lena B., Acutis M., 2002. Confronto tra stime della evapotraspirazione di riferimento ai fini dell'assistenza all'irrigazione in Abruzzo. Atti convegno AIAM Acireale 6-7 Giugno 2002.
- Di Lena B., Antenucci F., Mariani L., 2012 Space and time evolution of the Abruzzo precipitation. *Italian Journal of Agrometeorology*, (1): 5-20.
- Di Lena B., Vergni L., Antenucci F., Todisco F., Mannocchi F., 2014. Analysis of drought in the region of Abruzzo (Central Italy) by the Standardized Precipitation Index. *Theoretical and Applied Climatology*, 115 (1-2):41-52.
- Hargreaves G.H. e Samani Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1: 96-99.
- Kendall M.G., 1975. Rank Correlation Measures. Charles Griffin, London.
- Mann H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*. 13:245-259.
- Mckee T. B., Doesken N. J., Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, California, pp. 179-184.
- Muggeo V. M. R., 2003. Estimating regression models with unknown break-points. *Statistics in Medicine*. 22: 3055-3071.
- Muggeo V. M. R., 2008. Segmented: an R package to fit regression models with broken-line relationships. *R News*. 8/1: 20-25.
- Neter J., Wasserman W., Kutner. M.H., 1990. Applied linear statistical models. Irwin. Homewood. IL 63430. Boston. MA 02116. pp 370-374.
- Sen P. K., 1968. Estimates of the regression coefficient based Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63: 1379-1389.
- Theil H., 1950. A rank-invariant method for linear and polynomial regression analysis, I,II,III. *Nederlanndse Akademie wetwnschappen*. 53: 386-392, 521-525, 1397-1412.
- Vicente-Serrano S. M., Begueria S., Lopez-Moreno J.I., 2010. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23: 1696-1718.
- Werner P. C., Gerstengarbe F.W., Fraedrich K., Oesterle K., 2000. Recent climate change in the North Atlantic/European sector. *International Journal of Climatology*, Vol, 20, Issue 5:463-471.
- Wilhite D. A., 1993. Understanding the Phenomenon of Drought. Drought Mitigation Center Faculty Publications. 50.

# CARBON FOOTPRINT DELLA PRODUZIONE DI FRUMENTO VERNA CON METODO BIOLOGICO E CONVENZIONALE, IN TOSCANA

## CARBON FOOTPRINT OF VERNA WHEAT PRODUCTION UNDER ORGANIC AND CONVENTIONAL METHODS, IN TUSCANY

Marco Mancini<sup>1\*</sup>, Leonardo Verdi<sup>2</sup>, Luisa Leolini<sup>2</sup>, Simone Orlandini<sup>1</sup>, Anna Dalla Marta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università di Firenze. Piazzale delle Cascine 18, 50144, Firenze, Italia

<sup>2</sup> Fondazione per il Clima e la Sostenibilità. Via Giacomo Caproni 8, 50144, Firenze, Italia.

\* marco.mancini@unifi.it

### Abstract

The use of inputs for the production of wheat represents an important emission source of greenhouse gases, but crop productivity can be a discriminating factor in understanding the benefits of different cultivation methods and for the implementation of a strategy for climate change mitigation.

The study proposes the analysis of the carbon footprint, through LCA approach (Life Cycle Assessment), of a short and local supply chain of wheat obtained under organic and conventional cultivation method. The ancient variety of Verna wheat, selected in Tuscany, was used for the test. The results show a lower impact of the organic cultivation model.

### Parole chiave

Carbon footprint, biologico, LCA, frumento antico.

### Keywords

Carbon footprint, organic, LCA, ancient wheat.

### Introduzione

Tra le strategie di mitigazioni dei cambiamenti climatici particolare attenzione è riservata all'individuazione delle operazioni colturali più impattanti ed alla promozione di dei metodi di coltivazione più sostenibili (Syp et al., 2015; Biekša, 2016).

All'interno del modello per la valutazione dei cambiamenti climatici, elaborato dall'"Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC) i fattori di caratterizzazione sono espressi come Global Warming Potential (GWP) e valutati in termini di incremento di CO<sub>2eq</sub>, con un ambito geografico su scala globale. L'orizzonte temporale di riferimento può essere di 20, 100 e 500 anni; questo per tenere conto del fatto che differenti molecole si decompongono e inattivano solo in periodi di tempo molto lunghi. Per valutazione delle emissioni clima alteranti possono essere utilizzati anche software quali il SimaPro<sup>®</sup> che effettua la caratterizzazione del GWP secondo il metodo IPCC2007 (SETAC, 1993).

Poiché le metodologie di coltivazione e le potenzialità produttive dell'ambiente pedo-climatico all'interno di territori limitati e abbastanza omogenei sono simili, è possibile operare un confronto volto alle valutazioni ambientali di differenti modelli di coltivazione e al confronto dell'impatto legato alle differenti operazioni colturali (Meisterling et al., 2009; Gan et al., 2011; Brock et al., 2012; Schäfer et al., 2012; Soltani et al., 2013; Cui et al., 2014; Heidari et al., 2017; Verdi et al., 2018).

Gli studi possono essere condotti considerando sia un prodotto intermedio quale il grano, la farina e la semola oppure sui prodotti finali pasta, pane e in generale prodotti da forno (Rööös et al., 2011).

L'obiettivo principale dello studio è di calcolare l'impronta di carbonio (carbon footprint) della filiera produttiva del "frumento antico" Verna nell'areale toscano, operando un

confronto tra due differenti metodi di coltivazione, convenzionale e biologico.

### Materiali e Metodi

Nel presente studio la metodologia LCA, secondo le norme UNI EN 14010:2006 e UNI EN ISO 14044:2006, è stata applicata a una filiera produttiva del frumento Verna, operando il confronto fra sistema di coltivazione convenzionale e biologico.

Il modello IPCC 2007, del software SimaPro<sup>®</sup> ha permesso la valutazione dei cambiamenti climatici con un orizzonte temporale di 100 anni. I fattori di caratterizzazione sono espressi in GWP, in termini di incremento di CO<sub>2eq</sub>.

Per il rilievo dei dati, tenendo conto delle esigenze di un'analisi LCA, è stata impiegata una scheda atta a computare tutte le operazioni colturali, gli input di coltivazione, tipologia e tempo d'utilizzo delle macchine operatrici, i loro consumi, le produzioni e i sottoprodotti della filiera.

I rilievi sono stati effettuati su 5 aziende convenzionali e 5 aziende biologiche omogeneamente distribuite sul territorio delle province di Arezzo, Firenze, Grosseto e Siena, della Regione Toscana. L'ambiente pedologico ed agroclimatico può essere considerato molto simile nei confronti della vocazionalità produttiva del frumento Verna, la distribuzione casuale delle aziende costituisce il presupposto per la confrontabilità dei dati.

Il periodo utilizzato è di 4 cicli colturali, corrispondenti ai raccolti 2015-2018, per avere un confronto mediato negli anni ed indipendente dai peculiari andamenti meteorologici annuali e/o puntuali.

Ai fini del confronto LCA i valori dei differenti anni e delle differenti aziende sono stati mediati al fine di ottenere un

modello di coltivazione di riferimento sia per il biologico che per il convenzionale.

Le operazioni colturali e gli input di coltivazione delle aziende sono stati computati in quota parte al fine di considerare tutti gli aspetti delle singole realtà. Come esempio possiamo riportare che l'aratura è stata effettuata da tutte le aziende biologiche ed è stata computata al 100%, diversamente dall'erpatura a dischi che è stata effettuata da tre aziende su cinque ed è stata computata al 60% del "peso" d'utilizzo di macchina operatrice e gasolio. L'unità funzionale usata è 1 kg di frumento prodotto e stoccato. È stato, inoltre, considerato che la filiera abbia quale output soltanto il prodotto frumento, non considerando il sottoprodotto paglia che viene reimpiegato come apporto di sostanza organica al terreno, sia direttamente alla raccolta sia successivamente come letame nelle aziende con attività zootecniche.

I confini del sistema comprendono tutte le attività di coltivazione del frumento fino alla raccolta del prodotto e al suo trasporto al centro di stoccaggio, in particolare:

- uso seme e relativo imballaggio;
- consumi di gasolio per attività di coltivazione, e pressatura;
- produzione di fertilizzanti e prodotti fitosanitari per i trattamenti, comprensivi dei relativi imballaggi;
- emissioni da uso di fertilizzanti: protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) in aria e acqua, ammoniaca (NH<sub>3</sub>) in aria e Nitrati (NO<sub>3</sub>) in acqua;
- trasporto di semi, fertilizzanti e fitofarmaci;
- consumo idrico per la diluizione dei prodotti utilizzati per la coltivazione;
- scenari di fine vita degli imballaggi;
- trasporto del frumento raccolto dall'azienda di coltivazione al centro di stoccaggio.

Non sono state considerate le infrastrutture delle aziende; macchinari e trattori per le operazioni agricole; lavoro e trasporto umano; fasi di manutenzione; emissioni da uso di fitofarmaci.

## Risultati e Discussione

Il modello di coltivazione biologico è risultato molto più variegato nella tecnica colturale rispetto al convenzionale (Tab. 1). Nel biologico la produzione media nei 4 anni e nelle 5 aziende è risultata di 1524 kg/ha ed il consumo di gasolio è stato di 128,8 l/ha.

Nel convenzionale la produzione media nei 4 anni e nelle 5 aziende è risultata di 2815 kg/ha ed il consumo di gasolio è stato di 157,8 l/ha.

Tab. 1 – Elenco delle operazioni colturali, gli input di coltivazione e relativi pesi per i modelli biologico e convenzionale di coltivazione del frumento Verna.

Tab. 1 – List of crop management practices, cultivation inputs and ratio for organic and conventional Verna wheat cultivation models.

BIOLOGICO		
OPERAZIONI COLTURALI	Tipologia operazione (indicare le operazioni in ordine cronologico)	Peso %
	Sovescio (aratura+semina+trinciatura)	0
	Trinciatura infestanti	20
	Aratura	100
	Concimazione fondo	40
	Erpicatura a dischi	60
	Erpicatura denti rotanti	20
	Semina	100
	Erpicatura denti rigidi	20
	Concimazione copertura 1*	20
	Concimazione copertura 2*	20
	Concimazione fogliare 1*	20
	Concimazione fogliare 2*	20
	mietitrebbiatura	100
FERTILIZZAZIONE	Nome commerciale fertilizzante	Peso %
	Ravel 27 Opengreen kg/ha	20
	Biosiapor 3 -12 kg/ha	20
	Endurance N7 kg/ha	20
	Endurance N8 kg/ha	20
	Siapton Siapa kg/ha	20
SEMINE e TRATTAMENTI	Nome commerciale fitofarmaco	Peso %
	Seme Kg/ha	100
	Poltiglia bordolese	100
	Ekoseed - pro-ced	20
OPERAZIONI PER FASE DI RACCOLTA	Tipologia carburante/energia	Peso %
	Trasporto centro di stoccaggio della granella	100
Gestione paglia (residuo colturale)	Tipologia	Peso %
	Pressatura in rotoballe	50
	Trinciatura combinata con la raccolta	50
RIFIUTI GENERATI	Tipologia rifiuto	Peso %
	filo per pressatura paglia	50
CONVENZIONALE		
OPERAZIONI COLTURALI	Tipologia operazione (indicare le operazioni in ordine cronologico)	Peso %
	lavorazione principale aratura/rippatura	100
	concimazione di fondo	100
	erpatura con erpice a dischi	100
	semina (+ erpice rotante opzionale)	100
	concimazione copertura 1*	100
	diserbo e/o fungicida	80
	concimazione copertura 2*	20
	mietitrebbiatura	100
FERTILIZZAZIONE	Nome commerciale fertilizzante	Peso %
	Concimazione alla semina fosfato biammonico	20
	Concimazione alla semina Siapor Unimer	80
	Concimazione di copertura nitrato ammonico	80
	Concimazione di copertura Sulfan	20
SEMINE e TRATTAMENTI	Nome commerciale fitofarmaco	Peso %
	Scenic (concia del seme)	100
	Marox (Diserbante)	60
	Axial Pronto (Diserbante)	20
	Manta Gold (Diserbante)	40
	Atlantis (Diserbante)	20
	Bumper P (Fungicida)	60
OPERAZIONI PER FASE DI RACCOLTA	Tipologia carburante/energia	Peso %
	Trasporto centro di stoccaggio della granella	100
Gestione paglia (residuo colturale)	Tipologia	Peso %
	Pressatura in rotoballe	50
	Trinciatura combinata con la raccolta	50
RIFIUTI GENERATI	Tipologia rifiuto	Peso %
	filo per pressatura paglia	50

Nella coltivazione convenzionale la produzione e l'utilizzo dei fertilizzanti costituisce la principale voce di emissione con 381 gr di CO<sub>2eq</sub> emessa per kg di frumento prodotto. Nel biologico sintesi ed uso fertilizzanti sono preceduti dalle operazioni colturali e dalla fase di raccolta.

Tab. 2 – Impatti di GWP della produzione di frumento Verna con metodo convenzionale (UF=1kg).

Tab. 2 GWP impacts of Verna wheat production with conventional method (UF = 1kg).

COLTIVAZIONE CONVENZIONALE	U.d.M.	TOT	OPERAZIONI COLTURALI	FERTILIZZANTI	USO FERTILIZZANTI	TRATTAMENTI	MATERIALI AUSILIARI	RACCOLTA	RIFIUTI
GHG da FONTE FOSSILE	kg CO <sub>2eq</sub>	0,612	0,153	0,238	0,143	0,053	0,002	0,02	0,001
GHG da FONTE BIOGENICA	kg CO <sub>2eq</sub>	0,003	2,20E-04	0,002	0	7,02E-04	3,11E-05	2,92E-05	2,90E-05
di cui	CO <sub>2</sub> biologico	0,003	2,09E-04	0,002	0	6,77E-04	2,93E-05	2,77E-05	2,66E-05
	Metano biologico	1,2E-04	1,1E-05	8,0E-05	0	2,49E-05	1,75E-06	1,47E-06	2,35E-06
GHG da DLUC	kg CO <sub>2eq</sub>	0,003	6,00E-05	2,62E-04	0	0,003	4,86E-07	3,06E-06	2,50E-07
CO <sub>2</sub> ASSORBITA	kg CO <sub>2eq</sub>	-0,098	-1,75E-04	-0,003	0	-0,094	-4,42E-05	-2,32E-05	-8,44E-06
RISCALDAMENTO GLOBALE (GHG da FONTE FOSSILE + GHG da FONTE BIOGENICA + GHG da DLUC - CO <sub>2</sub> ASSORBITA)	kg CO <sub>2eq</sub>	0,520	0,153	0,238	0,143	-0,038	0,002	0,02	0,001

Tab. 3 – Impatti di GWP della produzione di frumento Verna con metodo biologico (UF=1kg).

Tab. 2 - GWP impacts of Verna wheat production with organic method (UF = 1kg).

COLTIVAZIONE BIOLOGICA	U.d.M.	TOTALE	OPERAZIONI COLTURALI	FERTILIZZANTI	USO FERTILIZZANTI	TRATTAMENTI	MATERIALI AUSILIARI	RACCOLTA	RIFIUTI
GHG da FONTE FOSSILE	kg CO <sub>2eq</sub>	0,424	0,243	0,013	0,017	0,107	0,003	0,037	0,004
GHG da FONTE BIOGENICA	kg CO <sub>2eq</sub>	0,002	3,48E-04	0	0	0,001	5,65E-05	5,29E-05	9,36E-05
di cui	CO <sub>2</sub> biologico	0,002	3,31E-04	0	0	0,001	5,33E-05	5,02E-05	8,60E-05
	Metano biologico	9,90E-05	1,75E-05	1,77E-05	0	5,03E-05	3,19E-06	2,66E-06	7,61E-06
GHG da DLUC	kg CO <sub>2eq</sub>	0,005	1,27E-05	2,35E-05	0	0,005	8,95E-07	1,92E-06	7,98E-07
CO <sub>2</sub> ASSORBITA	kg CO <sub>2eq</sub>	-0,188	-2,76E-04	-0,001	0	-0,185	-8,02E-05	-4,20E-05	-2,71E-05
RISCALDAMENTO GLOBALE (GHG da FONTE FOSSILE + GHG da FONTE BIOGENICA + GHG da DLUC - CO <sub>2</sub> ASSORBITA)	kg CO <sub>2eq</sub>	0,245	0,243	0,013	0,017	-0,071	0,003	0,037	0,004

Nel metodo biologico le operazioni colturali gravano di più anche se il consumo di gasolio è sensibilmente inferiore. Su tale aspetto incide il fattore produttività che diluisce il maggior carico assoluto degli interventi meccanici. Gli impatti inerenti il “riscaldamento globale” del metodo biologico sono risultati inferiori, rispetto al metodo convenzionale, del 51% (Fig. 1).

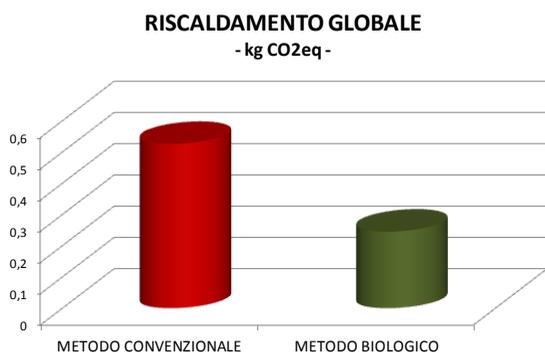


Fig.1 – Confronto fra i impatti di GWP della produzione di frumento Verna con metodo convenzionale e biologico (UF=1kg).

Fig.1 – GWP impacts of Verna wheat production with conventional and organic cultivation methods (UF = 1kg).

Gli scenari di aumentata e diminuita produzione, a parità di input, mostrano come il metodo convenzionale non risulti

mai migliore del biologico, nemmeno nel confronto fra una produzione convenzionale maggiorata del 20% ed una biologica ridotta del 20% (Tab. 4). Tale informazione può rappresentare un elemento di riflessione sia nei confronti della metodologia di coltivazione delle varietà antiche di frumento sia nei confronti delle moderne tecniche di agricoltura di precisione che consentono a parità di input migliori prestazioni produttive.

Tab. 4 – Scenari d’impatto del GWP della produzione di frumento Verna con metodo biologico e convenzionale (UF=1kg) ottenuti variando la produttività.

Tab. 4 – GWP impact scenarios for the production of Verna wheat with organic and conventional methods (UF = 1kg) obtained by varying the yields.

SCENARIO	METODO	RISCALDAMENTO GLOBALE (kgCO <sub>2eq</sub> )
Scenario reale	Convenzionale	0,52
	Biologico	0,25
Aumento produzione 10%	Convenzionale	0,47
	Biologico	0,22
Aumento produzione 20%	Convenzionale	0,43
	Biologico	0,21
Decremento produzione -10%	Convenzionale	0,57
	Biologico	0,27
Decremento produzione -20%	Convenzionale	0,65
	Biologico	0,30

## Conclusioni

L’analisi del carbon footprint, svolta con metodologia LCA, ha mostrato che il metodo coltivazione biologico del frumento Verna porta ad una sostanziale riduzione delle emissioni clima alteranti.

La stima dell’impronta di carbonio per la filiera produttiva è tuttavia complessa a causa dell’eterogeneità delle operazioni colturali, dei risultati produttivi e delle molteplici variabili negli ecoindicatori utilizzati. Man mano che più strumenti di analisi saranno disponibili nel prossimo futuro, la stima dell’impronta di carbonio potrà essere fatta per varie scelte di tecniche colturali e dei confini del sistema.

Le considerazioni che attualmente risultano di maggiore interesse riguardano:

- il ciclo della CO<sub>2eq</sub> della biomassa potrebbe ritenersi parzialmente chiuso nel caso in cui il compost derivante dalla frazione organica dei rifiuti solidi urbani o il digestato di allevamenti fosse utilizzato quale concime azotato organico (Verdi et al., 2019). Dal punto di vista delle emissioni risparmiate per la produzione ed uso dei fertilizzanti potrebbe migliorare le prestazioni della produttività, del risparmio nelle operazioni di lavorazione del terreno e nello stoccaggio di carbonio organico nel terreno;
- le differenze maggiori nei due metodi di coltivazione sono rappresentate dalla produzione e dall’utilizzo dei

fertilizzanti, in tale contesto le fertilizzazioni sito-specifiche, legate all'agricoltura di precisione, potrebbero migliorare l'efficienza d'uso soprattutto nel metodo convenzionale;

c) gli N-fissatori biologici quali i sovesci possono essere utilizzati nella riduzione l'impronta di carbonio del frumento (Gan et al., 2011).

## **Bibliografia**

Biekša K., 2016. The evaluation of cereal farms using ecological footprint method. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*, 38(3): 207–218.

Brock P., Madden P., Schwenke G., Herridge D., 2012. Greenhouse gas emissions profile for 1 tonne of wheat produced in Central Zone (East) New South Wales: a life cycle assessment approach. *Crop and Pasture Science* 63: 319–329.

Chiriaco M. V., Grossi G., Castaldi S., Valentini R., 2017. The contribution to climate change of the organic versus conventional wheat farming: A case study on the carbon footprint of wholemeal bread production in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 153: 309-319.

Cui Z. L., Wu L., Ye Y. L., Ma W. Q., Chen X. P., Zhang F. S., 2014. Trade-offs between high yields and greenhouse gas emissions in irrigation wheat cropland in China. *Biogeosciences* 11(8):2287–2294.

Gan Y., Liang C., Wang X., McConkey B., 2011. Lowering carbon footprint of durum wheat by diversifying cropping systems. *Field Crops Research* 122: 199–206.

Heidari M.D., Mobli H., Omid M., Shahin Rafiee., Marbini V. J., Elshout P. M. F., Van Zelm R., Huijbregts M. A. J., 2017. Spatial and technological variability in the carbon footprint of durum wheat production in Iran. *International Journal Life Cycle Assess*, 22:1893–1900.

Meisterling K., Samaras C., Schweizer V., 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Clean Production* 17:222–230.

Röös E., Sundberg C., Hansson P.A., 2011 Uncertainties in the carbon footprint of refined wheat products: a case study on Swedish pasta. *International Journal Life Cycle Assess*, 16:338–350.

Schäfer F., Blanke M., 2012. Farming and marketing system affects carbon and water footprint e a case study using Hokaido pumpkin. *Journal of Cleaner Production* 28: 113-119.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 1993. 'Guidelines for Life-cycle Assessment: A "Code of Practice"', SETAC workshop in Sesimbra, Portugal 31 March–3 April, Brussels: SETAC.

Soltani A., Rajabi M.H., Zeinali E., Soltani E., 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy* 50:54–61.

Syp A., Faber A., Borzęcka-Walker M., Osuch D., 2015. Assessment of greenhouse gas emissions in winter wheat

farms using data envelopment analysis approach. *Pol J Environ Stud* 24:2197–2203.

Verdi L., Mancini M., Lyubojevic M., Orlandini S., Dalla Marta A., 2018. Greenhouse gas and ammonia emissions from soil: the effect of organic matter and fertilisation method. *Italian Journal of Agronomy*, 13(3):260-266.

Verdi L, Kuikman PJ, Orlandini S, Mancini M, Napoli M, Dalla Marta A., 2019. Does the use of digestate to replace mineral fertilizers have less emissions of N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub>? *Agr Forest Meteorol.*, 269: 112-118.

## **Ringraziamenti**

Si ringrazia la Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze per il sostegno fornito alla ricerca. Il progetto GRANT a valere sul PSR della Regione Toscana per il supporto nella raccolta dei dati. L'LCA-lab SRL per il supporto nelle analisi.

# LA INTERPOLAZIONE DELLA BAGNATURA FOGLIARE SULLE MARCHE: TRE MODELLI A CONFRONTO

## THE INTERPOLATION OF LEAF WETNESS DURATION IN MARCHE REGION: THREE MODELS IN COMPARISON

Stefano Leonesi<sup>1</sup>, Danilo Tognetti<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ASSAM Regione Marche – Servizio Agrometeo  
[\\*tognetti\\_danilo@assam.marche.it](mailto:tognetti_danilo@assam.marche.it)

### Abstract

Leaf Wetness Duration (LWD) knowledge is essential both for the development, and forecasting of plant diseases or for crop protection, by means of agrometeorological simulation models performances. The first aim of this work was to set up and compare three different methods for LWD evaluation: VPD, PRAGA and SWEB. These 3 different LWD simulations were then compared to the measured one. SWEB method performed better according to the usual statistical indexes and cross validation techniques. Then we set SWEB in order to obtain the best performances. The use of the simulated and the measured data will be our future goal to create input files for epidemiological simulation models.

### Parole

Bagnatura fogliare, LWD, SWEB, MAR, Marche

### Keywords

Leaf Wetness Duration, LWD, SWEB, MAR, Marche

### Introduzione

La bagnatura fogliare riveste un ruolo di primo piano per lo sviluppo di numerose malattie delle piante. In effetti la presenza di un velo d'acqua sulla superficie delle foglie consente il moto e la germinazione delle spore di molti funghi e la loro infiltrazione all'interno dei tessuti. La conoscenza di tale parametro risulta perciò essenziale per la previsione di malattie e la difesa delle colture.

Il presente studio ha l'obiettivo di confrontare diversi metodi di stima della durata della bagnatura fogliare: uno basato sul *vapour pressure deficit* (VPD), quello interno di PRAGA e il modello SWEB (Surface Wetness Energy Balance). Come ingresso per i modelli di simulazione e interpolazione si utilizzano i dati della rete di stazioni agrometeorologiche dell'ASSAM. Le ore di bagnatura fogliare stimate con i tre modelli sono quindi confrontate con quelle misurate in campo attraverso tecniche di *cross validation*. SWEB sembra essere il modello che ha dato i migliori risultati di stima, almeno sul territorio marchigiano e per il periodo considerato. Le stime di tale modello possono essere migliorate variando alcuni parametri, in particolare aumentando il parametro che indica l'altezza del velo d'acqua sulla foglia. L'obiettivo è che in futuro i dati simulati e i dati misurati serviranno come input per un modello di simulazione della peronospora della vite e di altre malattie.

### Materiali e Metodi

I dati meteo orari utilizzati per il calcolo e la stima della bagnatura fogliare sono quelli rilevati sul territorio marchigiano da 62 delle 67 stazioni agrometeorologiche dell'ASSAM (Fig. 1), nel periodo aprile-ottobre 2018. Le grandezze misurate usate nei modelli stima sono: temperatura media a 180 cm, umidità relativa media,

velocità media del vento, radiazione globale, precipitazione. In aggiunta si considerano le misure della bagnatura fogliare per il controllo e la validazione dei modelli di interpolazione della stessa. Laddove, per una certa stazione, non sono disponibili i dati di un certo parametro (es. la velocità vento, radiazione globale), si considerano quelli della stazione più vicina.

Si è utilizzato il software PRAGA (PRogram for AGrometeorological Analysis), sviluppato dal Servizio Idro-Meteo-Clima del Arpa Emilia-Romagna (PRAGA, 2018), per la interpolazione su griglia 5 km X 5 km delle variabili meteo coinvolte nella stima della bagnatura fogliare. Più precisamente, tramite il metodo dell'inverso della distanza, questa calcolata tramite l'algoritmo interno TAD (*Topographic distance Maps*), si sono ottenute nei 401 punti griglia le stime della temperatura, della precipitazione, dell'umidità orarie a partire dai dati misurati dalle stazioni. PRAGA stesso fornisce un modello di stima della bagnatura fogliare i cui valori vengono calcolati in automatico durante il processo di spazializzazione, nei punti griglia.

Abbiamo considerato inoltre come modelli per la stima della bagnatura fogliare uno basato sul *vapour pressure deficit* e la presenza di pioggia (VPD):

bagnatura fogliare = 1, se (vpd<1) o (RR>0) o (RH>90)

dove

$$Vpd = (1 - (RH/100)) * (6.11 * \exp((17.47 * AT) / (239 + AT)))$$

RR è la precipitazione

RH è la umidità relativa

AT è la temperatura aria

(altrimenti la bagnatura fogliare stimata è 0);

il modello conosciuto come SWEB, Surface Wetness Energy Balance (Magarey, 1999) utilizzato e fornito dal CSA per il Friuli V. Giulia (Cicogna et. al, 2002). Quest'ultimo modello in particolare è costituito da quattro moduli: il primo descrive la distribuzione dell'acqua sulle foglie, il secondo esegue un "bilancio idrico" sulla canopy, nel terzo viene risolto il bilancio energetico, nel quarto si tiene conto dell'influenza del vento. La bagnatura fogliare con il modello SWEB, necessitando della velocità del vento e della radiazione globale che non vengono stimati nei punti griglia, viene calcolata sui punti stazione e poi spazializzata sulla griglia. Il modello VPD invece è implementato su ogni punto griglia a partire dai dati di temperatura, umidità e precipitazione precedentemente stimati da PRAGA.

Gli indici statistici utilizzati per la verifica dei modelli di stima della bagnatura sono: ACC, POD, MAR (Tab. 1). Particolare attenzione è stata posta all'indice MAR (*Missing Alarm Rate*) e alla sua diminuzione perché i mancati allarmi hanno un forte impatto nel decidere i trattamenti e dunque nello sviluppo delle patologie delle colture.

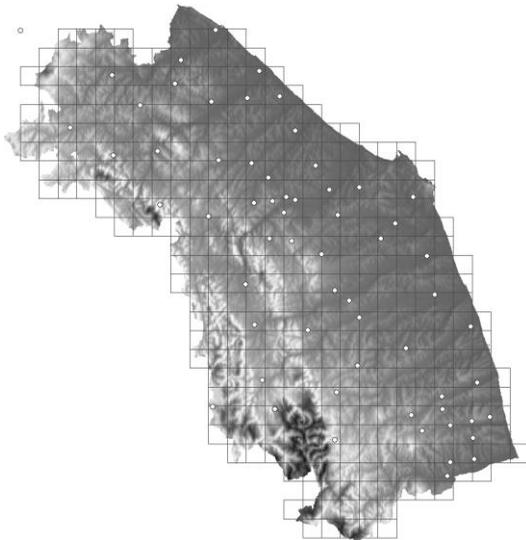


Fig. 1 – Mappa delle Marche, posizione delle 62 stazioni agrometeorologiche e griglia 5km X 5km usate per la stima della bagnatura fogliare.

Fig. 1 - Map of Marche region, locations of the 62 observational agrometeorological stations and the 5km X 5km grid used for leaf wetness estimation.

Tab.1 – Indici usati per valutare la stima delle interpolazioni. YY, totale dei successi positivi (bagnature osservate e stimate entrambe positive); NN, totale degli assenti corretti (bagnature osservate e stimate entrambe zero); YN, totale dei falsi allarmi (bagnatura osservata positiva, bagnatura stimata zero); Totals, numero totale dei casi.

Tab.1 – Indices used to evaluate analysis interpolation. YY, number of hits (estimated and observed leaf wetness are both positive). NN, number of correct rejections (estimated and observed leaf wetness are both zero); YN, number of false alarms (observed leaf wetness is positive, estimated leaf wetness is zero); Totals, total number of cases.

Indice	Equazione
ACC	$\frac{YY + NN}{Totals}$
POD	$\frac{YY}{YY + YN}$
MAR	$\frac{YN}{YY + YN}$

### Risultati e Discussione

Il modello SWEB è quello che ha dato i migliori risultati, almeno secondo gli indici statistici da noi considerati e calcolati tramite *cross validation*. Così successivamente ci si è concentrati solo su SWEB.

Per il periodo aprile-ottobre 2018, i dati orari della bagnatura fogliare calcolati con SWEB (stimati) sono stati confrontati con quelli misurati dalle stazioni (osservati) nei punti griglia più prossimi alla posizione delle stazioni stesse. Siccome il dato osservato è un valore da 0 a 60 mentre gli stimati possono assumere i valori 0, 30, 60, sia gli stimati che gli osservati vengono posti a 1 se si hanno almeno 30 minuti di bagnatura nell'ora, 0 altrimenti.

Nelle prime elaborazioni, SWEB è stato inizializzato con i parametri di default, in particolare impostando LL=4,5 che rappresenta la lunghezza della foglia in cm, cmax=0,02 che rappresenta invece l'altezza massima del velo d'acqua in cm. Buoni risultati si sono avuti per ACC con un valore medio di 0,82 calcolato nell'intero periodo e per tutte le stazioni. I risultati peggiori hanno oscillato intorno ai 0,6 per alcune stazioni e mesi. POD mostra invece una grande variabilità territoriale (cioè per stazione). Il suo valore medio sull'intero periodo (e per tutte le stazioni) è di 0,76 ma in alcune aree, come sulle coste settentrionali e zone interne del maceratese, esso assume valori decisamente bassi, anche inferiori a 0,5 (Fig. 2).

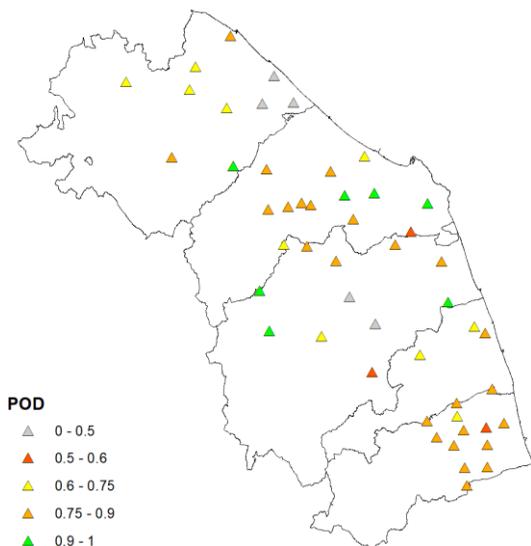


Fig. 2 – Mappa indice POD, SWEB inizializzato con i parametri di default ( $c_{max}=0,02$ ).

Fig. 2 – Map index POD, SWEB initialized with the default parameters ( $c_{max} = 0.02$ ).

Prestazioni così poco performanti sono forse dovute al basso numero di stazioni e alla orografia più complicata nel caso dell'entroterra maceratese, all'essere "di frontiera" nel caso del settore costiero settentrionale. Il valore medio dell'indice MAR è di 0,26 e mostra le stesse criticità territoriali dell'indice POD (Fig. 3).

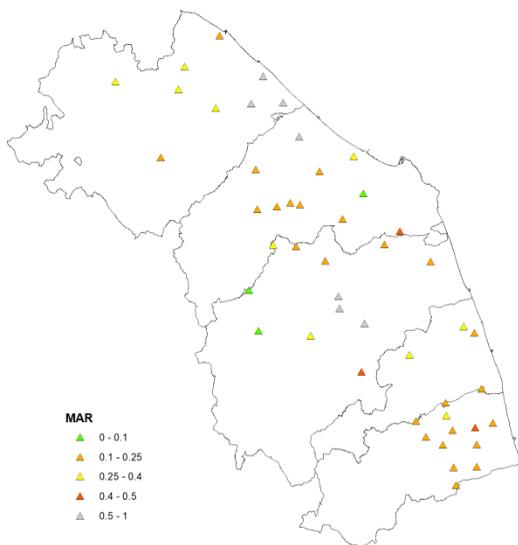


Fig. 3 – Mappa indice MAR, SWEB inizializzato con i parametri di default ( $c_{max}=0,02$ ).

Fig. 3 – Map index MAR, SWEB initialized with the default parameters ( $c_{max} = 0.02$ ).

Il passo successivo è stato quello di stimare la bagnatura fogliare con i parametri modificati: LL impostato a 3,5,  $c_{max}$  posto a 0,01.

Dunque, diminuendo la "lunghezza della foglia" e "l'altezza massima del velo d'acqua", il modello SWEB mostra un buon miglioramento delle prestazioni così come indicato dall'indice ACC, cresciuto a 0,87 ma un evidente

peggioramento delle prestazioni secondo POD, sceso a 0,61, e secondo MAR cresciuto a 0,39 (Tab. 2). Considerando tutte le 62 stazioni e i 7 mesi singolarmente, nel 76,1% dei casi si osserva un miglioramento per l'indice ACC (cresciuto) ma un peggioramento nel 79,1% dei casi per gli indici POD (diminuito) e MAR (cresciuto).

Visto quindi il sostanziale peggioramento delle prestazioni, per le successive simulazioni si è deciso di intraprendere la direzione opposta aumentando, piuttosto che diminuire, la "altezza massima del velo d'acqua". La "lunghezza foglia" è rimasta invece fissata a 3,5.

Effettivamente, stime della bagnatura fogliare con  $c_{max}=0,03$  hanno mostrato un leggero miglioramento delle prestazioni con ACC passato da 0,82 (parametri di default) a 0,85 mentre POD e MAR sono tornati su valori in linea con quelli ottenuti con i parametri di default.

Incoraggiati da questi ultimi risultati si è deciso di aumentare ulteriormente il parametro  $c_{max}$  portandolo a 0,04. In questo caso, SWEB ha mostrato performance migliori per gli indici POD (0,76) e MAR (0,24), ottenendo inoltre un miglioramento nel 57,7% dei casi (stazione,mese). Migliori prestazioni anche per l'indice ACC, cresciuto a 0,84 e con risultati positivi nel 51,6% casi (stazione,mese).

L'ultimo step è stato quello di provare come SWEB avrebbe reagito ad una ulteriore crescita della "altezza massima del velo d'acqua":  $c_{max}=0,06$ . Ebbene, si sono confermate sia l'aumento dell'indice POD (0,8 rispetto al 0,74 ottenuto con i parametri di default) che la diminuzione dell'indice MAR (0,2 contro 0,26) con miglioramenti in circa il 67% dei casi (stazione,mese). Un piccolo peggioramento si è avuto invece per l'indice ACC, passato dai 0,84 delle elaborazioni con  $c_{max}=0,04$  ai 0,80 attuali, valore questo comunque in linea con quello ottenuto con i parametri di default. Considerato che c'è stato un peggioramento anche nel 57,1% nei casi (stazione,mese) si è deciso di fermarsi qui nelle stime della bagnatura fogliare.

Tab.2 – Indici ACC, POD e MAR ottenuti per ogni stima della bagnatura fogliare con modello SWEB per differenti valori dei parametri  $c_{max}$  (altezza massima del velo d'acqua) e LL (lunghezza foglia). La tabella mostra anche le frequenze percentuali delle variazioni dei casi (stazione, mese) rispetto ai parametri di default.

Tab.2 – ACC, POD and MAR indexes obtained for each leaf wetness estimation with SWEB model for different values of the  $c_{max}$  (maximum water film height) and LL (leaf length) parameters. The table also shows the relative frequencies of the variations of cases (station, month) with respect to the default parameters.

parametri		valore assoluto			% miglioramenti risp. default		
LL	$c_{max}$	ACC	POD	MAR	ACC	POD	MAR
4.5	0.02	0.82	0.74	0.26			
3.5	0.01	0.87	0.61	0.39	76.1	20.9	20.9
3.5	0.03	0.85	0.73	0.27	58.8	49.2	49.2
3.5	0.04	0.84	0.76	0.24	51.6	57.7	57.7
3.5	0.06	0.82	0.80	0.20	42.9	67.9	67.6

La distribuzione spaziale degli indici POD e MAR calcolati nei punti stazione e per l'intero periodo aprile-ottobre 2018 (Fig. 4 e Fig. 5) evidenzia i miglioramenti della stima della bagnatura fogliare SWEB con la "altezza massima del velo d'acqua" posta a 0,06 laddove il modello con parametro di default 0,02 mostrava dei risultati mediocri in particolare sull'entroterra del maceratese e sul settore costiero settentrionale. Prestazioni non esaltanti permangono su alcune zone tra l'ascolano ed il fermano.

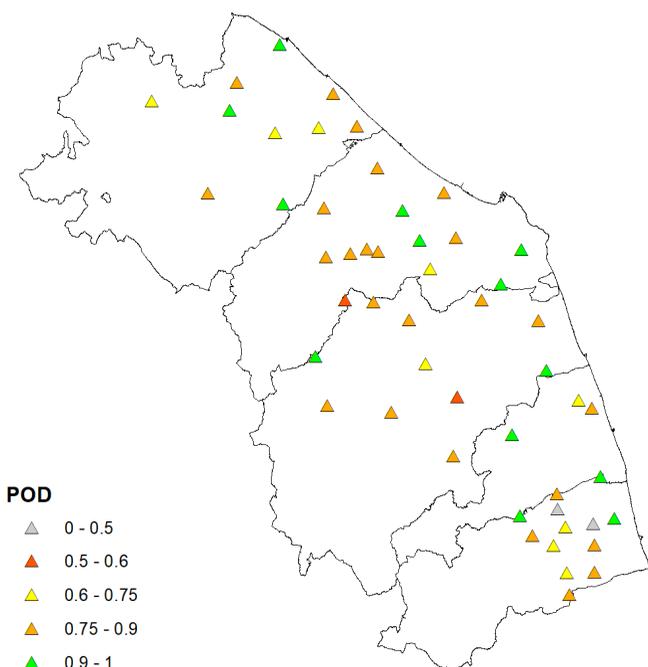


Fig. 4 – Mappa indice POD, SWEB inizializzato con parametri  $LL=3,5$  e  $c_{max}=0,06$ .

Fig. 4 - Map index POD, SWEB initialized with parameters  $LL=3.5$  and  $c_{max}=0.06$ .

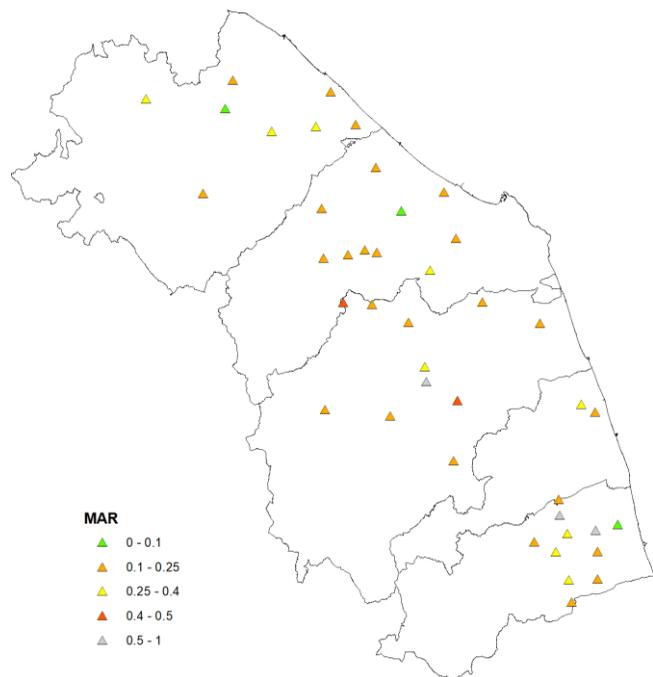


Fig. 5 – Mappa indice MAR, SWEB inizializzato con parametri  $LL=3,5$  e  $c_{max}=0,06$ .

Fig. 5 - Map index MAR, SWEB initialized with parameters  $LL=3.5$  and  $c_{max}=0.06$ .

## Conclusioni

Il metodo di stima e interpolazione SWEB per la bagnatura fogliare ha fornito i migliori risultati rispetto agli altri due modelli testati sul nostro territorio regionale, il modello interno all'applicativo PRAGA e quello basato sul Vapour Pressure Deficit, come testimoniano gli indici statistici rilevati, con performance piuttosto buone in media. Con i parametri di default, SWEB non ha comunque dato risultati soddisfacenti in alcune zone di frontiera o interne dove le stazioni meteo non sono sufficientemente frequenti. Miglioramenti si possono comunque ottenere aumentando il parametro  $c_{max}$  che simula l'altezza massima del velo d'acqua sulla foglia. Infatti, aumentando tale parametro, almeno fino alla soglia di 0,06 da noi sperimentata, cresce a 0,8 l'indice POD, segno che aumentano i casi in cui il modello individua correttamente le ore in cui c'è stata una bagnatura effettivamente misurata e cala a 0,2 l'indice MAR, segno che diminuiscono i casi di "mancato allarme" cioè i casi in cui non viene stimata una ora di bagnatura effettivamente misurata. Il prezzo da pagare è una minore accuratezza del modello così come testimonia l'andamento tendenzialmente decrescente dell'indice ACC.

Resta quindi aperta l'opportunità di utilizzare i dati di questo modello come ingresso per modelli di simulazione della peronospora della vite e di altre malattie culturali.

## **Ringraziamenti**

Si ringrazia il Dott. A. Cicogna per averci fornito il modello SWEB e utili indicazioni sulla modifica dei suoi parametri.

## **Bibliografia**

PRAGA, PRogram for AGrometeorological Analysis, 2018,  
<https://github.com/ARPA-SIMC/CRITERIA3D/wiki/PRAGA>.

Magarey R.D., 1999. A theoretical standard for surface wetness estimation. Ph.D. Diss. Cornell University, Ithaca, NY.

Cicogna, A., Dalla Marta, A., Alilla, R., Dietrich, S., Fabbo, R., Gani, M., Giovanardi, R., Maracchi, G., Orlandini, S., Sandra, M., Severini, M., 2002. Uso del parametro di bagnatura fogliare nella previsione delle malattie delle piante. Atti del convegno AIAM 2002 - Agrometeorologia nel Mediterraneo, Acireale 6-7 giugno 2002, 58-68

# EVENTO ALLUVIONALE DEL 27-30 OTTOBRE 2018 IN VENETO

## EXTREME EVENT ON 27-30 OCTOBER 2018 IN VENETO REGION

Adriano Barbi, Alberto Bonini Baraldi, Federica Checchetto, Irene Delillo\*, Francesco Rech

ARPAV – Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio – Servizio Centro Meteorologico, via Marconi 55, 35037, Teolo (Padova)

[\\*irene.delillo@arpa.veneto.it](mailto:irene.delillo@arpa.veneto.it)

### Abstract

Intensification and increased frequency of extreme events are often considered features related to climate change.

At the end of October 2018, a heavy storm hit Veneto region with strong precipitations and exceptional Sirocco wind.

This event caused extensive damages, the loss of 8 million cubic meters of standing trees in north-eastern Italy, in Veneto region the storm devastated more than 100.000 hectares of forest.

The storm affected the region with last long and heavy precipitations with a maximum amount of 715 mm in four days and of 30-50 mm in a hour. In several cases, total rainfall from 1 to 4 days was absolute record since 1992, when ARPAV monitoring network started.

The dominant factor of forest damage was the very strong wind; on October 29<sup>th</sup>, especially during the afternoon, it has constantly blown with very high intensities, over 100 km/h for some hours, reaching maximum values on international Beaufort scale classified as "violent storm" or as "hurricane".

Gust peaks, up to almost 200 km/h on the Pre-alpine area, broke all the records of data series.

### Parole chiave

Tempesta Vaia. Eventi estremi, cambiamento climatico

### Keywords

Storm Vaia, extreme events, climate change

### Introduzione

L'intensificazione e la maggior frequenza di eventi meteorologici estremi sono considerate caratteristiche associate al cambiamento climatico.

Dal 27 al 30 ottobre 2018 il Veneto è stato interessato da un evento particolarmente intenso che ha causato vasti danni al territorio tra cui l'abbattimento di intere aree forestali a causa degli innumerevoli schianti di alberi d'alto fusto. In realtà questo evento emergenziale si è verificato in seguito ad un altro ugualmente emergenziale ma caratterizzato da aspetti meteorologici estremi ma opposti. Tra il 23 e il 25 ottobre, infatti, la discesa di forti correnti settentrionali in quota con marcato gradiente barico sull'arco alpino (anche >12 hPa) ha originato un evento di Foehn che ha fatto registrare frequenti venti forti sulle zone montane della regione con punte oltre 100 km/h, sia in quota sia nelle valli. Le temperature hanno subito, anche per effetto Fohen, un sensibile rialzo, raggiungendo addirittura valori di 28-30°C in diverse località di fondovalle del Bellunese. Le alte temperature, i suoli particolarmente secchi per le marcate condizioni di siccità preesistenti e i forti venti hanno rappresentato le caratteristiche ideali per il rapido sviluppo di un incendio boschivo nell'Agordino innescato, il giorno 24, da alcuni schianti di alberi su una linea elettrica. L'incendio ha assunto in poco tempo proporzioni imponenti, propagandosi rapidamente e provocando una colonna di fumo che in meno di due ore ha raggiunto la costa veneziana.

Al vasto incendio nei boschi dell'Agordino è seguito l'arrivo della cosiddetta "Tempesta Vaia". Quest'ultimo

evento è stato tra i più intensi e disastrosi registrati in Veneto, soprattutto nell'area montana, per dissesti idrogeologici e per i diffusi danni da vento. Esso è stato però assai significativo anche lungo il litorale e l'area lagunare per le mareggiate e l'acqua alta a Venezia, oltre che in alcune aree della pianura lungo le aste dei principali fiumi andati in piena.

### Materiali e Metodi

Il Servizio del Centro Meteorologico di Teolo (CMT) è la struttura operativa di ARPAV responsabile delle attività di monitoraggio e di previsione meteorologica. Il CMT gestisce una rete di 200 stazioni di rilevamento meteorologico costituita da stazioni meteorologiche, agrometeorologiche ed idrometriche, distribuite sull'intero territorio della Regione Veneto che operano in modo automatico ed effettuano in continuo la misura dei principali parametri meteorologici, agrometeorologici ed idrologici. Per lo studio della "Tempesta Vaia" sono stati utilizzati i dati rilevati nel periodo 25 – 30 ottobre dalle stazioni della rete Arpav, con una particolare attenzione a quelli di precipitazione e di vento rilevati dalle stazioni presenti nelle zone montane e pedemontane delle province di Belluno e di Vicenza.

## Risultati e Discussione

L'evento del 27-30 ottobre in Veneto ha portato da un lato precipitazioni estremamente abbondanti sulle zone montane e pedemontane, con fenomeni anche a carattere di forte rovescio e temporale inusuali per la stagione, dall'altro un marcato rinforzo dei venti meridionali, soprattutto sulle zone montane e costiere, che, in alcune fasi, sono stati molto forti e accompagnati da violente raffiche mai registrate in passato dalla rete ARPAV (operativa dal 1992). Sulla pianura centro meridionale le precipitazioni sono state più discontinue e di entità assai inferiore.

Le precipitazioni, iniziate il mattino di sabato 27 ottobre sulle zone montane e pedemontane, sono state generalmente diffuse e persistenti fino a tutta la giornata di lunedì 29, fatta eccezione per una significativa pausa nella notte tra domenica e lunedì.

Le fasi con i fenomeni più intensi e con accumuli di pioggia maggiori sono state nella giornata di domenica 28 e in quella di lunedì 29, specie nel pomeriggio/sera. Nel corso del giorno 30 i fenomeni si sono via via esauriti e le precipitazioni sono state caratterizzate da intensità e persistenze decisamente minori rispetto ai giorni precedenti. Tra sabato 27 e martedì 30 ottobre nelle diverse zone del Veneto si sono registrate le precipitazioni riportate in tabella 1 e rappresentate nella figura 1.

Tab.1 – Precipitazioni cumulate tra il 27 e il 30 ottobre 2019 per zona.

Tab.1 – Total precipitation between 27 and 30 October 2019

Precipitazioni mm	Zona
400-600	Bellunese centrale (Agordino e Zoldano) e nord-orientale (Cadore-Comelico), con locali massimi intorno ai 650-700 mm
200-400	Bellunese settentrionale (Alto Agordino e Ampezzano)
250-400	Bellunese meridionale
100-200	Trevigiano centrale e settentrionale
150-300	Prealpi Vicentine, con apporti superiori ai 400 mm sul settore settentrionale dei bacini dell'Agno e del Posina
75-250	Prealpi Veronesi
20-100	Pianura con un netto decremento da nord a sud

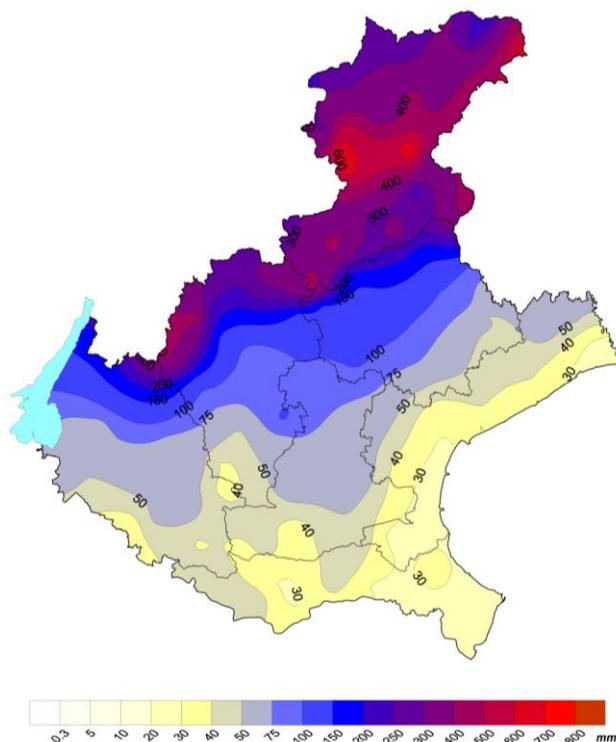


Fig.1 - Precipitazioni cumulate tra il 27 e il 30 ottobre 2019 sul Veneto.

Fig.1- Total precipitation between 27 and 30 October 2019 over Veneto Region.

I valori di precipitazione più significativi misurati dalle stazioni pluviometriche Arpav durante l'intero evento sono stati i seguenti:

- **Bellunese centrale:** 715.8 mm a Soffranco (Longarone), 658 mm a Sant'Andrea (Gosaldo), 636 mm a Col di Prà (Taibon Agordino) 565.4\* mm ad Agordo, 548.2 mm a Cencenighe e 430.6 mm a Forno di Zoldo;
- **Bellunese meridionale:** 439.2 mm a Valpore (Seren del Grappa), 432.6 mm a Feltre e 411.8 mm a Col Indes (Tambre d'Alpago);
- **Prealpi Vicentine occidentali:** 431 mm a Rifugio la Guardia (Recoaro Terme), 430.4 mm a Conrà Doppio (Posina), 426.6 mm a Castana, 423.6 mm a Valli del Pasubio e 415.4 mm a Turcati (Recoaro Terme).

Significativi anche i 595.4 mm caduti a Sappada (comune recentemente passato all'interno dei confini amministrativi del Trentino Alto Adige).

\*il dato pluviometrico della stazione di Col di Prà è stato parzialmente ricostruito perché verso le ore 20 del giorno 29 la stazione è stata travolta da una frana ed ha cessato di funzionare.

Per diverse stazioni del bellunese, i quantitativi di precipitazione registrati nell'intervallo tra 1 e 4 giorni costituiscono record assoluti almeno dal 1992, anno di attivazione della rete di monitoraggio Arpav.

Infine, in alcune stazioni, soprattutto del Bellunese e nella seconda parte di lunedì, sono state registrate precipitazioni

di 30-50 mm in un'ora, valori già di per sé particolarmente elevati ma ancor più significativi in considerazione della stagione nella quale si è verificata la "Tempesta Vaia". Nella tabella 2 vengono riportati i valori, per una selezione di stazioni, delle massime precipitazioni (in mm) registrate nei 4 giorni tra il 27 ed il 30 ottobre 2018 per durate temporali di: 30 e 45 minuti; 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive e 1, 2, 3 e 4 giorni consecutivi. A titolo di esempio, nella stazione di Soffranco cadono di media, in tutto il mese di Ottobre circa 200 mm di pioggia, valore raggiunto e superato nelle 12 ore consecutive più piovose dell'evento considerato.

*Tab.2 – Per alcune stazioni meteorologiche: massime precipitazioni (mm) registrate tra il 27 ed il 30 ottobre 2018 per durate di: 30 e 45 minuti; 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive; 1, 2, 3 e 4 giorni consecutivi.*

*Tab.2 – For some meteorological stations: maximum rainfall (mm) recorded between 27 and 30 October 2018 for durations of: 30 and 45 minutes; 1, 3, 6, 12 and 24 consecutive hours; 1, 2, 3 and 4 consecutive days*

STAZIONE	30 minuti	45 minuti	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni
Soffranco	21.9	33.8	38.2	81.8	129.2	234.0	329.8	284.6	489.4	667.4	715.9
Sant'Andrea (Gosaldo)	27.0	36.9	49.2	115.0	204.8	236.4	261.2	319.4	539.2	629.6	699.9
Col di Fraz	11.2	14.6	17.4	44.4	81.0	137.4	255.8	285.4	503.0	612.0	636.0
Sappada	14.8	19.6	24.6	59.2	106.0	201.4	326.4	298.6	497.4	572.2	595.4
Canalio	20.4	25.6	31.4	76.4	116.4	201.4	306.4	271.8	468.8	533.8	565.4
Casenegeh	24.4	32.6	36.8	79.2	147.2	221.8	261.8	251.6	444.2	511.0	548.2
Rovina di Cancina (Borca di Cadore q 1335 m)	29.6	36.2	38.6	91.0	136.8	188.4	229.0	216.0	365.8	439.0	449.8
Feltre	14.2	17.8	22.2	46.4	86.0	162.8	231.8	209.0	359.0	419.4	432.6
Forno di Zoldo - Campo	15.0	19.8	23.0	49.2	78.6	133.4	203.6	172.6	332.6	406.6	430.6
Rifugio la Guardia (Recoaro Terme)	19.6	25.8	30.8	63.8	86.0	127.0	202.6	161.6	307.0	405.2	431.0
Valli del Pasubio	20.6	24.4	24.6	66.2	97.8	145.8	215.6	180.6	315.4	405.2	423.6
Lajpine (Sivert del Grappa)	33.4	40.0	45.4	67.0	107.2	169.8	220.4	162.4	300.4	404.2	439.2
Castana	24.8	29.4	32.0	54.4	92.2	157.6	234.6	196.6	324.4	403.6	426.6
Passo Xomo (Posina)	13.2	16.0	20.2	48.0	77.0	126.0	206.8	165.6	302.4	396.0	413.8
Col Indes (Tambre)	15.0	20.6	24.4	54.2	58.6	151.6	192.4	187.2	344.6	393.6	411.8
Turcis (Recoaro Terme)	21.8	28.4	32.4	57.6	77.8	124.4	193.0	153.4	297.4	389.6	415.4
Contra Doppo (Posina)	19.6	22.8	27.4	60.6	93.0	134.8	219.0	177.8	306.8	384.4	430.4
Sella Ciampogotto	16.6	20.6	26.2	66.6	114.0	182.0	204.6	204.6	322.0	377.8	377.8
Alone (Lajbah)	21.6	21.6	23.6	43.6	67.2	118.8	148.6	148.6	291.2	371.6	391.4
Gares	28.2	38.6	51.4	71.4	124.6	168.4	197.0	184.6	293.2	369.6	392.0
Perarolo	17.2	25.4	28.4	66.8	116.8	172.4	205.8	189.2	274.0	366.6	396.2
Casaglio - Tramedere	20.2	26.8	28.8	62.8	104.6	161.8	201.6	154.0	305.8	359.6	384.8
Monte Auna	20.0	30.4	35.8	61.8	106.2	164.6	179.6	177.4	298.0	352.2	360.6
Torch	17.0	23.0	29.8	59.0	96.0	149.6	169.8	165.8	295.0	346.2	357.8
Pian del Ciap (Val di Zoldo)	11.2	16.2	20.6	45.6	68.0	116.4	182.4	156.6	264.8	346.0	354.2
Pescot	17.6	22.8	32.4	67.4	74.4	109.0	162.0	154.0	286.8	339.2	369.6
Longorano	22.8	29.0	30.2	79.2	121.0	182.0	208.4	197.0	254.2	338.6	363.4
Dolomge di Cadore	16.0	19.4	25.4	62.8	112.0	160.2	204.6	177.8	281.6	335.0	371.2
Valle di Cadore	13.4	19.0	24.6	46.0	84.6	139.2	169.6	156.0	233.8	333.2	364.8
Passo Valles	14.8	20.0	23.0	37.6	63.6	101.2	174.6	119.6	236.6	333.0	346.6
Ponte Rio Cordan (Selva di Cadore)	12.4	17.4	20.4	42.0	77.4	111.8	176.6	151.8	263.2	331.6	352.4
Sant'Antonio Toral	20.8	29.2	32.4	67.0	104.6	161.8	182.0	172.2	285.2	323.8	343.8
Comacinate (Santo Stefano di Cadore)	22.4	27.8	32.4	63.0	107.6	185.8	206.8	202.2	282.4	323.4	340.8
Malga Ciapella	16.8	23.8	29.4	68.4	105.2	145.6	188.0	169.8	253.6	316.8	350.2
Sospitolo	16.8	21.4	22.6	46.8	70.2	108.0	132.4	124.2	245.4	313.4	327.0
Santo Stefano di Cadore	16.0	21.0	26.0	61.0	103.0	157.0	179.0	173.8	253.8	311.0	326.0
San Martino d'Alpago	18.2	20.8	24.8	52.8	93.4	138.6	157.0	152.8	258.6	319.6	324.2
Auronzo	12.4	14.0	15.6	43.2	71.4	100.8	139.8	117.6	213.6	307.4	342.6
Piana di Marcesina - Rendole	19.4	22.6	32.0	49.8	74.4	107.8	145.4	119.8	232.4	302.0	330.8
Villanova (Borca di Cadore)	15.0	17.2	22.4	42.4	74.6	119.4	141.2	141.2	236.6	300.2	317.0
Recoaro Milite	18.6	23.4	27.0	50.0	59.8	88.0	141.4	120.2	234.6	298.2	324.4
Faloria	10.8	13.2	17.4	34.6	58.8	101.8	153.4	132.2	247.8	294.0	311.4
Porto Tolle	8.2	10.6	12.2	29.4	51.6	78.0	146.0	116.8	208.6	294.0	310.8
Passo Monte Croce Comelico	14.6	17.0	19.0	43.2	67.4	105.0	137.2	124.2	227.8	290.4	306.0
Capille	9.0	11.8	13.6	33.2	56.2	87.0	146.4	122.4	236.8	284.0	298.2
Costalva	18.6	21.6	21.0	51.0	91.0	130.0	163.0	138.0	244.0	292.0	310.0
Podestagno (Cortina d'Ampezzo)	9.0	12.2	14.0	30.8	48.8	85.6	144.8	116.8	214.6	281.4	298.6
Lamon - Sala	26.0	33.2	38.2	62.2	103.4	148.0	172.6	163.4	218.8	279.6	298.8
Eraclinea	19.6	25.8	34.2	62.8	93.8	134.8	168.8	146.8	246.8	289.0	297.8
Misina	13.0	18.6	23.0	44.0	74.4	106.2	129.2	124.6	217.6	261.4	272.8
Passo Falzarego	9.8	12.4	15.2	35.6	58.8	88.6	134.4	107.0	211.4	261.0	284.0
Santa Giustina Bellunese	18.8	24.6	30.6	56.6	74.8	119.8	132.6	129.8	220.4	255.8	265.0
Rebio	9.6	14.0	17.4	43.4	74.2	112.2	140.0	130.8	206.6	248.4	276.0

La "Tempesta Vaia", oltre che dalle abbondanti precipitazioni è stata caratterizzata anche dalla presenza e persistenza di **fortissimi venti**. Presenti fin dall'inizio dell'evento, essi hanno raggiunto, nel pomeriggio-sera di lunedì 29, valori mai riscontrati in precedenza (dal 1992 anno d'inizio attività delle stazioni dell'ARPAV) provocando grossi danni sul territorio montano e provocando lo schianto degli alberi di alto fusto di intere aree forestali.

Per quanto riguarda i valori di raffica (valore istantaneo riportato a 10 m dal suolo) si segnalano: 192 km/h registrati sulla cima prealpina del Monte Cesen a 1552 m di quota, 167 km/h registrati sul Monte Verena (Altopiano dei Sette Comuni) a 2002 m di quota, 149 km/h registrati sul Passo Valles (Dolomiti) a 2042 m di quota.

Per le aree di fondovalle o altipiano si segnalano valori di raffica pari a: 141 km/h in Cansiglio, 140 km/h a Perarolo di Cadore, 132 km/h a Caprile e 111 km/h a Santa Giustina Bellunese.

Nella tabella 3 si riportano i valori di raffica (valore di velocità vento istantaneo) superiori a 70 km/h, ovvero superiori a 19.5 m/s, ed il relativo orario solare di accadimento, registrati il giorno 29 delle stazioni anemometriche venete.

*Tab.3 – Valori di raffica massima superiore a 19.5 m/s, orario solare di accadimento e stazione anemometrica.*

*Tab.3 – Maximum gust values above 19.5 m / s, solar time of occurrence and anemometric station*

Stazione	Quota m s.l.m	Comune Provincia	altezza sensore dal suolo	Raffica	
				ore minuti	Velocità m/s
Monte Cesen	1552	VALDOBBIADENE (TV)	10m	18:23	53.4
Monte Verena	2002	ROANA (VI)	10m	20:01	46.3
Passo Valles	2042	FALCADE (BL)	5m	19:53	35.6
Monte Avena	1415	PEDAVENA (BL)	5m	18:37	35.1
Passo Prontis	2154	LIVINALONGO DEL COL DI LANA (BL)	5m	18:33	34.1
Casaglio - Tramedere	1022	TAMBRÉ (BL)	5m	21:06	33.7
Perarolo	625	PERAROLO DI CADORE (BL)	5m	21:17	33.6
Rifugio la Guardia (Recoaro Terme)	1130	RECOARO TERME (VI)	5m	18:05	31.7
Caprile	1007	ALLEGHE (BL)	5m	21:20	31.6
Piana di Marcesina - Rendole	1310	ENECEO (VI)	5m	18:37	31.4
Agordo	585	AGORDO (BL)	10m	18:28	30.2
Quero	252	QUERO VAS (BL)	5m	18:24	29.6
Passo Monte Croce Comelico	1621	COMELICO SUPERIORE (BL)	5m	22:17	29.4
Longorano	435	LONGARONE (BL)	5m	18:36	29.1
Sella Ciampogotto	1783	VICO DI CADORE (BL)	5m	19:58	28.7
Bosco Chiesanuova	1051	BOSCO CHIESANUOVA (VR)	5m	18:05	27.9
Col Indes (Tambre)	1181	TAMBRÉ (BL)	5m	18:33	27.2
Santa Giustina Bellunese	278	SANTA GIUSTINA (BL)	5m	18:34	26.5
Eraclinea	-1	ERACLEA (VE)	5m	18:14	25.8
Cortina d'Ampezzo - Gilardon	1271	CORTINA D'AMPEZZO (BL)	5m	21:21	25.6
Bardolino - Calmasino	160	BARDOLINO (VR)	10m	17:56	25.5
Castana	420	POSINA (VI)	5m	20:37	25.5
Asiago - aeroporto	1016	ASIAGO (VI)	10m	19:07	25.0
Belluno - aeroporto	377	BELLUNO (BL)	10m	18:41	24.7
Cortina d'Ampezzo	1745	AURONZO DI CADORE (BL)	5m	21:58	24.6
Bibione	0	SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO (VE)	10m	18:18	24.5
Misurina	1745	ALURONZO DI CADORE (BL)	5m	18:18	24.5
Passo Xomo (Posina)	1051	POSINA (VI)	5m	18:12	24.4
Castelfranco Veneto	49	CASTELFRANCO VENETO (TV)	10m	18:12	24.4
Avallone	1642	LIVINALONGO DEL COL DI LANA (BL)	5m	18:53	24.3
Sant'Apollinare (Rovigo)	2	ROVIGO (RO)	10m	17:42	24.4
Sappada	1265	SAPPADA (BL)	5m	22:08	23.9
Carverare	-2	CAVARERE (VE)	10m	17:43	23.3
Luçugnana (Portogruaro)	0	PORTOGRUARO (VE)	5m	18:32	23.3
Rosolina - Po di Tramontana	-2	ROSOLINA (RO)	10m	17:36	23.1
Lusiana	767	LUSIANA (VI)	5m	18:20	23.1
Carallino Treponti	1	CALLANO TREPONTI (VE)	10m	18:11	22.8
Torch	693	ALPAGO (BL)	5m	20:02	22.7
San Bortolo	935	SELVA DI PROGNO (VR)	5m	20:27	22.6
Valle di Cadore	794	VALLE DI CADORE (BL)	10m	21:15	22.4
Adina - Bellombra	-1	ADRIA (RO)	10m	18:18	22.0
Porto Tolle - Pradon	-3	PORTO TOLLE (RO)	10m	18:00	21.5
Faloria	2235	CORTINA D'AMPEZZO (BL)	5m	21:42	21.5
Castelnuovo del Garda	120	CASTELNUOVO DEL GARDA (VR)	5m	17:47	21.4
Conegliano	90	CONEGLIANO (TV)	10m	18:34	21.4
Portogruaro - Lison	2	PORTOGRUARO (VE)	10m	18:28	21.3
Sant'Andrea (Gosaldo)	1254	GOSALDO (BL)	5m	19:59	21.0
Ponte di Piave	3	PONTE DI PIAVE (TV)	5m	18:31	20.7
Follina	209	FOLLINA (TV)	2m	19:43	20.5
Monte di Giada	22	MONTEDI GIADA (VI)	5m	18:05	20.4
Tribano	3	TRIBIANO (PD)	10m	15:53	20.3
Lusia	6	LUSIA (RO)	2m	17:44	20.3
Grumolo delle Abbadesse	26	GRUMOLO DELLE ABBADESSE (VI)	10m	18:04	20.2
Venezia - Istituto Casaris	20	VENEZIA (VE)	10m	22:58	20.1
Vangalzza (Legnago)	12	LEGNAGO (VR)	5m	17:50	20.0
Fossalta di Portogruaro	3	FOSALTA DI PORTOGRUARO (VE)	5m	18:24	19.9
Caprino Veronese - Platano	275	CAPRINO VERONESE (VR)	2m	14:47	19.7
Recoaro Milite	1073	RECOARO TERME (VI)	5m	20:45	19.7
Sorga	24	SORGA (VR)	10m	17:40	19.6
Ospedaletto Euganeo	9	OSPEDALETTO EUGANEO (PD)	10m	17:59	19.6
Campagna Lupia - Valle Averso	0	CAMPAGNA LUPA (VE)	10m	18:27	19.6
San Bellino	6	SAN BELLINO (RO)	10m	17:43	19.5
Mogliano Veneto	5	MOGLIANO VENETO (TV)	5m	17:54	19.5
Legnaro	7	LEGNARO (PD)	10m	19:30	19.5

I venti hanno soffiato costantemente con intensità molto forti soprattutto tra il primo pomeriggio e la tarda serata di lunedì 29. In alcune fasi il vento medio ha registrato valori classificati ai gradini più alti della scala internazionale di Beaufort, tra "tempesta violenta" (103-117 km/h) e "uragano" (>117 km/h). In questo giorno, la stazione del Monte Cesen ha rilevato, tra le ore 18 e le 19, una velocità media oraria del vento di 120.6 km/h; nelle due ore successive la velocità media oraria è rimasta su valori di circa 105 km/h, mentre tra le ore 15 e le 18 e tra le 21 e le 22 questa stazione ha misurato velocità medie orarie di 90 km/h.

## **Conclusioni**

L'evento di fine ottobre 2018 che ha colpito il Veneto, è risultato davvero straordinario, non solo in termini di precipitazioni intense ed abbondanti ma anche per le estreme intensità di vento registrate. Oltre ai disastrosi effetti riportati nell'assetto idro-geologico e infrastrutturale del territorio, soprattutto montano e in particolare del Bellunese, ciò che ha reso ancor più straordinario questo evento sono stati i fortissimi venti osservati sia in termini di valore medio che di raffica massima con notevoli impatti sul patrimonio boschivo di vaste aree alpine e prealpine, sulle infrastrutture nonché su molti edifici. Un evento da considerarsi quindi estremo sotto diversi punti di vista ma che bisogna considerare come possibile componente, seppur rara, del nostro clima. Nell'attuale fase di cambiamento climatico l'aumento degli eventi estremi, sia in frequenza sia in intensità, rientra tra le possibili evoluzioni previste all'interno del sistema climatico terrestre, un sistema tanto complicato quanto delicato ma che, per sua natura, tende sempre a raggiungere un equilibrio. Eventi estremi come la "Tempesta Vaia" possono considerarsi manifestazioni meteorologiche coerenti con i meccanismi di un sistema climatico in evoluzione.

# AREALI DI COLTIVAZIONE DEL FINOCCHIO E CAMBIAMENTO CLIMATICO IN REGIONE BASILICATA

## *FENNEL CULTIVATION AND CLIMATIC CHANGE IN BASILICATA REGION*

Giovanni Lacertosa<sup>1\*</sup>, Giovanni Rocco Quinto<sup>1</sup>, Francesco D'Angella<sup>1</sup>, Emanuele Scalcione<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ALSIA - Centro Ricerca Agrobios, SS 106 Km 448.2, 75010 Metaponto (MT)

<sup>2</sup> ALSIA, Agenzia Lucana di Sviluppo ed Innovazione in Agricoltura

\*[giovanni.lacertosa@alsia.it](mailto:giovanni.lacertosa@alsia.it)

### **Abstract**

Climatic change can have direct and indirect effects on crop production and therefore the purpose of the study was to analyze the climatic data of four agrometeorological stations, located in the areas of greatest cultivation of fennel in Basilicata Region, in order to characterize the different areas of production. Even if the period considered it is not enough to draw general conclusion, the results of this study indicate that the fennel could include a wider cultivation cycle (early and late spring productions, according with the different areas of cultivation).

### **Parole chiave**

Finocchio, Ambiente Mediterraneo, Cambiamento climatico, Parametri meteorologici

### **Keywords**

Cultivation area of Fennel, Mediterranean environment, Climatic change, Meteorological parameters

### **Introduzione**

Il cambiamento climatico in Basilicata, per effetto dell'aumento della temperatura e tendenza ad una riduzione delle precipitazioni totali, potrebbe determinare un aumento dei fenomeni di aridità ed una accentuazione dei processi di erosione dei calanchi e di frane (Piccarreta et al., 2015). Peraltro, l'aumento di intensità delle precipitazioni e la frequenza di eventi con durata di più giorni potrebbero aggravare il fenomeno delle alluvioni, non solo in autunno e in inverno, ma anche in primavera (Piccarreta et al., 2013) con effetti diretti ed indiretti anche sulle colture (aumento dei consumi idrici, diminuzione della sostanza organica e della fertilità dei suoli, diffusione di nuove avversità e riduzioni delle rese).

In Basilicata, fra le colture orticole il finocchio rappresenta una specie di estremo interesse, con una superficie di coltivazione di oltre 900 ha ed una produzione complessiva di circa 24.000 tonnellate. I principali areali di coltivazione sono l'arco ionico di Metaponto, ove prevale la coltura a ciclo autunno-invernale ed autunno-primaverile, e l'Alto Bradano-Lavellese, in coltura precoce estivo-autunnale. I trapianti vengono effettuati da metà agosto a tutto novembre, mentre la raccolta inizia a novembre e dicembre per le colture precoci, e continua in inverno-primavera sino a tutto maggio con quelle medie e tardive (Miccolis et al., 2012).

Condizioni climatiche miti sono indispensabili per consentire la coltivazione del finocchio soprattutto in corrispondenza della raccolta: infatti abbassamenti repentini delle temperature possono provocare lesioni e spaccatura del grumolo. Il danno termico si manifesta con l'arresto dello sviluppo e la comparsa di lesioni longitudinali sulle guaine. L'esposizione prolungata a temperature inferiori a

0°C determina l'irreversibile alterazione dei tessuti che evolve in spaccature localizzate di entità diversa che comunque portano alla morte della pianta. L'optimum per lo sviluppo vegetativo coincide con temperature comprese tra 15° e 20°C, anche se sono sopportate temperature di 6/8°C. Il finocchio richiede una costante umidità del terreno durante tutto il suo ciclo colturale, si rende pertanto indispensabile una buona disponibilità idrica con interventi frequenti e volumi non abbondanti, per un apporto complessivo di circa 4.000 m<sup>3</sup> per ettaro. Stress idrici, anche temporanei, causano spaccature e necrosi sulle guaine più esterne che determinano l'aumento della percentuale di scarto e rendono la consistenza del grumolo fibrosa. Peraltro la coltura è estremamente sensibile nei confronti dei ristagni idrici che possono determinare la morte per asfissia del seme e l'arresto con ingiallimento della vegetazione. Scopo dello studio è stato quello di analizzare i dati climatici di quattro stazioni agrometeorologiche, site nelle aree di maggiore coltivazione del finocchio, al fine di caratterizzare i diversi areali di produzione per i principali parametri meteorologici, anche in considerazione dei fenomeni di cambiamento climatico e dei rischi per la coltivazione della coltura.

### **Materiali e Metodi**

Lo studio è stato effettuato utilizzando i dati giornalieri, dal 2000 al 2019, di 4 stazioni del Servizio Agrometeorologico Lucano (S.A.L.), rappresentative delle diverse altimetrie ed orografie delle principali zone di coltivazione del finocchio, che ricadono nel bacino idrografico del fiume Bradano (vedi Tab. 1). I dati sono stati sottoposti ai normali

controlli di consistenza interna e temporale prima di essere utilizzati per i calcoli successivi.

Tab.1 – Caratteristiche geografiche delle stazioni meteo  
Tab.1 - Geographical characteristics of the meteorological stations

Stazione	Pantanello	Fiumicello	S.M. d'Irsi	Gaudio
Comune	Bernalda	Montescaglioso	Irsina	Lavello
Latitudine	40,391111	40,523056	40,747778	41,101667
Longitudine	16,790278	16,697222	16,331389	15,848611
Altimetria m slm	24,0	45,0	450,0	180,0

## Risultati e Discussione

Nella Tab. 2 si riportano i parametri medi annui, calcolati da settembre ad aprile, ovvero la stagione di coltivazione del finocchio, per il periodo dal 2000 al 2019. Pantanello si distingue per i valori più alti di precipitazione, di giornate piovose e di umidità relativa. Sempre la località di Pantanello mostra temperature più miti con un minor numero di giornate fredde e di gelate, mentre minori sono le giornate calde rispetto alle altre stazioni. La località di S.M. d'Irsi, per la posizione altimetrica e la lontananza dal mare, presenta parametri termo pluviometrici opposti a quelli di Pantanello, mentre Fiumicello e Gaudio presentano parametri intermedi.

Tab.2 - Parametri climatici medi da settembre ad aprile, dall'anno 2000 al 2019

Tab.2 - Mean of climatic parameters from inter annual September – April (average of 2000 2019 years)

	Pantanello	Fiumicello	S.M. d'Irsi	Gaudio
Pioggia (mm)	484,9	446,4	361,6	443,5
GG pioggia >10mm	14,53	13,11	9,58	13,58
GG pioggia >30mm	3,21	2,42	1,21	1,74
Med U.R. (%)	75,11	69,07	67,98	74,08
Med Tmin (°C)	8,28	6,80	6,38	6,74
Med Tmax (°C)	13,24	12,12	11,66	11,74
Med Tmax (°C)	18,71	18,73	18,10	17,67
Escursione (°C)	10,43	11,93	11,72	10,92
GG Tmin<-4,0	0,05	1,47	2,68	1,74
GG Tmin<-2	1,63	6,68	9,53	7,05
GG Tmin<0	8,95	25,47	29,21	23,95
GG Tmax>30	8,37	11,89	12,53	9,47
GG Tmax>35	0,68	1,26	2,58	1,37
Med Et0 (mm)	2,23	2,32	2,27	2,21

In Fig. 1 si riportano i grafici che rappresentano la variabilità delle precipitazioni e dei giorni freddi ( $T_{min} < 0^{\circ}C$ ). Le stazioni di Pantanello e Fiumicello mostrano una più ampia variabilità delle precipitazioni rispetto alle altre due località, indicando come sia indispensabile avvalersi della disponibilità idrica per la coltivazione del finocchio, soprattutto nelle annate siccitose, mentre in quelle piovose può risultare critico il ristagno idrico o alla maturazione dei grumoli le operazioni di raccolta. Peraltra la tendenza, per effetto del cambiamento climatico, all'aumento di intensità

e frequenza delle precipitazioni di durata prolungata potrà accentuare le problematiche di ristagno idrico e/o difficoltà nelle operazioni di raccolta.

Pantanello mostra una minore variabilità nel numero di giorni freddi rispetto alle altre tre località, denotando un areale più adatto alla coltivazione del finocchio medio-tardivo. D'altra parte la tendenza all'aumento della temperatura, per effetto del cambiamento climatico, potrebbe determinare lo spostamento verso areali interni, che potrebbero risultare più idonei alla coltivazione del finocchio.

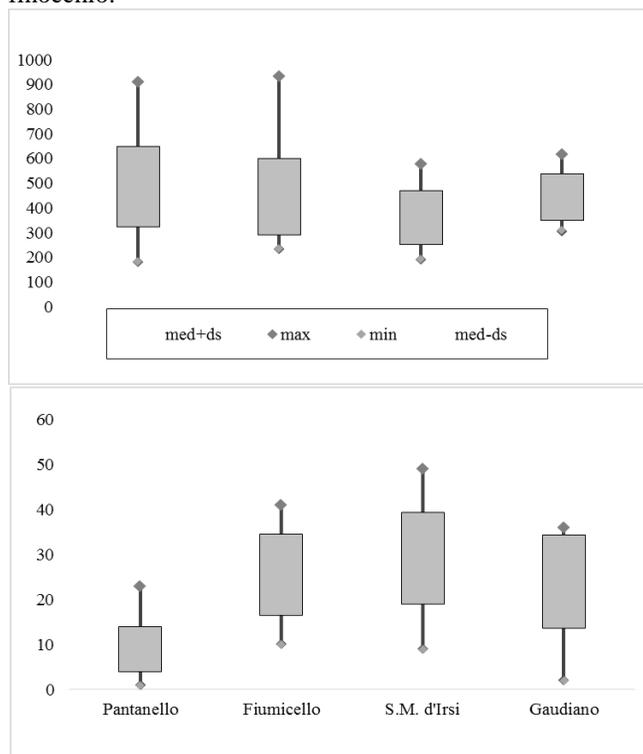


Fig.1 – Variabilità delle precipitazioni e dei giorni con  $T_{min} < 0^{\circ}C$ , da settembre ad aprile, dall'anno 2000 al 2019  
Fig.1- Variability of precipitation and days with  $T_{min} < 0^{\circ}C$ , from September to April (average of 2000 -2019 years)

## Conclusioni

Gli effetti delle variazioni climatiche sulla coltura del finocchio in Basilicata potranno evidenziarsi in una generale vulnerabilità produttiva. D'altra parte, l'ampia disponibilità di cultivar selezionate, la possibilità di modificare l'areale di coltivazione e l'utilizzo dell'agricoltura di precisione possono consentire ai produttori di trovare soluzioni di adattamento culturale, sfuggendo alle conseguenze negative derivanti dal cambiamento climatico.

## Bibliografia

- Miccolis V., Candido V., D'Angella F., 2012. Finocchio: per produrre bene servono agrotecnica e varietà. IA 16: 1-5
- Piccarreta M., Pasini A., Capolongo D. and Lazzari M., 2013. Changes in daily precipitation extremes in the

Mediterranean from 1951 to 2010: the Basilicata region, southern Italy. *Int. J. Climatol.* 33: 3229-3248.

Piccarreta M., Lazzari M. and Pasini A., 2015. Trends in daily temperature extremes over the Basilicata region (southern Italy) from 1951 to 2010 in a Mediterranean climatic context. *Int. J. Climatol.* 35: 1964-1975.

# WATER USE EFFICIENCY IN DROUGHT STRESSED LETTUCE (*LACTUCA SATIVA*) IN THE CENTRAL DRY ZONE OF MYANMAR

## EFFICIENZA D'USO DELL'ACQUA DI LATTUGA (*LACTUCA SATIVA*) SOTTOPOSTA A STRESS IDRICO NELLA ZONA ARIDA CENTRALE DEL MYANMAR

N. Michelin<sup>1</sup>, G. Pennisi<sup>1,2</sup>, N. Ohn Myint<sup>3</sup>, F. Orsini<sup>\*1</sup>, G. Gianquinto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research Centre in Urban Environment for Agriculture and Biodiversity (ResCUE-AB), Department of Agricultural and Food Sciences (DISTAL), Alma Mater Studiorum University of Bologna, Italy

<sup>2</sup>DISAFA, Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, University of Turin, Italy

<sup>3</sup>Yezin Agriculture University of Myanmar, Department of Soil and Water management, Pyinmana, Naypyidaw, Myanmar

<sup>4</sup>University of Bonn, INRES, Department of Horticultural Sciences, Germany

\*[f.orsini@unibo.it](mailto:f.orsini@unibo.it)

### Abstract

Water is essential for agricultural production and food security. Therefore, an accurate management of water resources is one of the main targets in plant science research. This study aims to determine the adequate water supply for maximum productivity and an efficient use of water in cultivation of lettuce in a semi-arid climate area of Myanmar. The experiment was conducted in open field conditions at Soil and Water Research Station of Yezin Agriculture University. On soil-based system equipped by drip irrigation system was used. Four irrigation levels were applied, three of them based on crop evapotranspiration (25%; 50% and 100%) and one guided by soil moisture sensors. Experimental design was a randomized split-plot with three replication per treatment and 195 plants per replicate

### Parole chiave

deficit d'irrigazione; resa; WUE; gestione dell'irrigazione; evapotraspirazione

### Keywords

Deficit irrigation; yield; WUE; irrigation management; evapotranspiration.

### Introduction

Water is essential for agricultural production and food security. In the coming decades, a growing number of regions will face increasing water scarcity while, because of global population reaching more than 9 billion people by 2050, demand for food is expected to surge by more than 50% (Tripathi et al., 2019). Today, about 70% of global freshwater withdrawals are directly used in agriculture (UNESCO, 2006). Accurate management of water resource in agriculture in order to increase crop water use efficiency is therefore one of the main targets in plant science research (Saccon, 2018).

Different strategies are available to predict water availability in the soil for plants and maximize crop water use efficiency. Across the Central Dry Zone of Myanmar water is scarce, vegetation cover is thin, and soils are sandy, degraded and infertile. Annual rainfall ranges from 300 to 800 mm with high variability and uneven distribution. Rain events tend to have a shorter duration and increased intensity. The current trends of drought and water scarcity in the CDZ are expected to intensify with the effects of climate change. The relatively low and erratic rainfall and the undulating land with mainly infertile sandy and sandy loam soils has led to low agricultural productivity. This study aims to determine the adequate irrigation management allowing for maximum productivity and

efficient use of water for cultivation of lettuce (*Lactuca Sativa*) in the Central Dry Zone (CDZ) of Myanmar.

### Materials and Methods

#### Location

The experiment was conducted in open field conditions at Soil and Water Research Station of Yezin Agriculture University located in the Central dry Zone of Mandalay Region in Myanmar (19°52' N, 96°37' E). The local climate according to Köppen's classification is Aw type, which is tropical rainy with dry summer and rainy season concentrated in the months of June to October.

The soil was loamy sand texture with sand 82%, silt 9.3% and clay 8.7%, a wilting point of 6.1% and field capacity of 13.0%. The chemical characteristics were the following in the 0 - 0.20 m layer: pH (H<sub>2</sub>O) 6.2; EC 0.12 dS m<sup>-1</sup>; 0.38% of organic matter; 54 mg kg<sup>-1</sup> of N; 10.9 mg kg<sup>-1</sup> of P; 25 mg kg<sup>-1</sup> of K.

#### Plant material and experimental treatments

The experiment was carried out on a commercial variety of lettuce (*Lactuca sativa* cv. 'Green wave'), sold in the local market. Seeds were sown manually in 105 cells plastic seedling trays and the seedlings were transplanted 21 days after sowing (DAS), on December 28<sup>th</sup>, 2018.

Four irrigation treatments were applied, three of them based on crop evapotranspiration ( $ET_c$ ), respectively restoring 25% (Irr25), 50% (Irr50) and 100% (Irr100) of crop  $ET_c$  (details on  $ET_c$  calculation are included in the following sections), and one guided by soil moisture sensors (CropX, Tel Aviv, Israel). In the sensors-guided treatment, the irrigation schedule was based on real soil moisture content, restoring water up to field capacity whenever soil moisture level reached 50% of water actually available.

The experimental unit consisted of a 5.4 m<sup>2</sup> plot containing 195 plants spaced 0.25 x 0.30 m, according to the local habits of farmers (resulting in a plant density of 13 plant m<sup>-2</sup>).

### Irrigation management

The irrigation management, with the exception of the sensors-guided treatment, was based on crop evapotranspiration ( $ET_c$ ), calculated by using the following equation:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

where  $ET_c$  (mm) is the calculated crop evapotranspiration,  $ET_0$  (mm) is the reference evapotranspiration and  $K_c$  is the FAO crop coefficient for lettuce crop (FAO, 1998).

For the estimation of the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ), the Hargreaves – Samani equation

$$ET_0 = 0.0023 * (T_{med} + 17.8) * (T_{max} - T_{min})^{0.5} * Ra$$

where  $Ra$  is extraterrestrial solar radiation, and  $T_{med}$ ,  $T_{max}$  and  $T_{min}$  are respectively medium, maximum and minimum daily temperatures, was used.

The meteorological data for the determination of the reference evapotranspiration were obtained from the Meteorological Stations of the Agrometeorological Department of Yezin Agriculture University.

The amount of irrigation water was calculated considering also the soil hydrological parameters, roots dept and precipitations.

For the irrigation, a drip irrigation system was used. The irrigation systems was equipped with self- compensating drippers, with a flow rate of approximately 1.3 L.h<sup>-1</sup>. Each plant had one dripper (30 cm spacing).

The irrigation was performed based on excel spreadsheet and by varying the water volume applied as a function of the crop evapotranspiration. The control of the irrigation time and the applied water depth was performed manually, through individual records for each treatment.

### Fertilizer management and pest control

The fertilization management followed commonly adopted strategies in the region, supplying 1.5 kg m<sup>-2</sup> of mature cattle manure and 0.025 kg m<sup>-2</sup> of NPK Fertilizer 15-15-15 applied 3 days before transplanting. No additional fertilizer has been applied during the three experiments.

During the experiments no diseases or pests were detected, therefore no pest control treatments were applied.

### Measurements

At harvest (31 days after transplanting), fresh weight (g plant<sup>-1</sup>) and marketable yields (kg m<sup>-2</sup>) were evaluated. Water Use Efficiency (WUE) was determined as the ratio between leaf fresh weigh and the volume of water used, and expressed as g FW L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O.

During the growing, leaf greenness was evaluated by using a SPAD (Minolta, Osaka, Japan) and stomatal conductance was measured by using a porometer (AP4, DeltaT-Device, Cambridge, United Kingdome).

Measurement were performed on the upper surface of the canopy on 3 leaves per each plant and on 12 plants per treatment.

### Statistical Analysis

The experimental design was a split plot randomized blocks, with four irrigation treatments and three repetitions per treatment. Measures were conducted on 12 plants for treatment. Data were analysed by one-way ANOVA and the means were compared by Least Significance Difference (LSD), at 5% significance level.

### Results and Discussion

During the crop cycle, maximum temperatures ranged between 25 and 35.5°C, with average maximum temperature of 32°C. Minimum temperatures ranged between 14.4 and 20.4°C, with average minimum temperature of 16.5°C (Fig. 1).

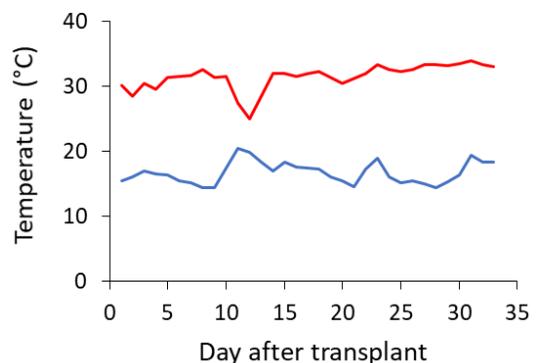


Fig. 1- Maximum temperature (red line) and minimum temperature (blue line) range during the experiment.

Fig. 1- Range di temperatura massima (linea rossa) e minima (linea blu) durante l'esperimento

In irrigation treatment Irr100 (100% of  $ET_c$  restored), plants received 130.4 mm of water, in Irr50 (50% of  $ET_c$  restored) plants received 65.2 mm of water through irrigation, in Irr25 (25% of  $ET_c$  restored) plants received 32.6 mm of water during the cultivation cycle (Fig. 2). On the other hand, plants grown by using a sensors-guided irrigation treatment received 84.4 mm (Fig. 2).

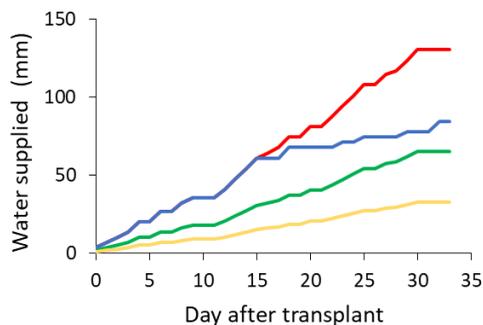


Fig. 2- Cumulated water supply in Irr100 (red line), Irr50 (green line), Irr25 (yellow line) and sensors-guided treatment (blue line).

Fig. 2- Fornitura d'acqua cumulata in Irr100 (linea rossa), Irr50 (linea verde), Irr25 (linea gialla) e trattamento guidato dai sensori (linea blu).

Water deficit produced significant differences in fresh weight (Tab. 1). Weight reduction was observed in Irr25 as compared to the other irrigation treatments. No statistically significant differences were observed among the other treatments, presented an average fresh weight production of 141.4 g plant<sup>-1</sup>. On the contrary, plants grown under the highest level of water shortage (Irr25) presented the greatest dry matter accumulation (with values comparable to the one obtained in the sensors-guided irrigation treatment) (Tab. 1).

Higher values of leaf greenness were observed both in Irr25 and when irrigation was guided by soil moisture sensors. Stomatal conductance presented the lowest values in Irr25, while no significant differences were detected among the other irrigation regimes.

Tab. 1 – Fresh weight (g plant<sup>-1</sup>), dry matter (%), leaf greenness (SPAD-value) and stomatal conductance (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) of plants grown under the different irrigation treatments. Different letters indicates significant differences (p≤0.05) among the treatments.

Tab. 1- Peso fresco (g pianta<sup>-1</sup>), sostanza secca (%), verde fogliare (valore di SPAD) e conduttanza stomatica (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) di piante cresciute con diversi trattamenti irrigui. Lettere diverse indicano differenze significative (p≤0.05) tra i trattamenti.

Parameters	Irr100	Irr50	Irr25	Sensors
Fresh weight	137.3a	146.1a	100.2b	140.9a
Dry matter	7.2b	7.6b	9.2a	8.6ab
Leaf greenness	17.8b	16.8b	21.6a	22.3a
Stomatal conductance	252.0a	211.5a	161.0b	193.3a

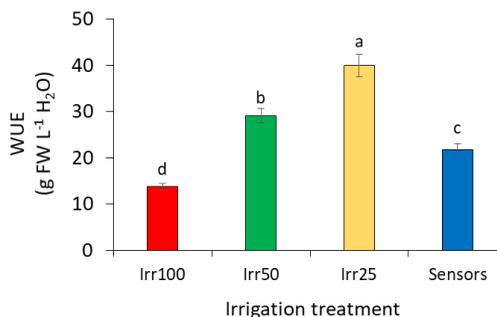


Fig. 3- Water use efficiency in the different irrigation treatments.

Fig.3 - Efficienza d'uso dell'acqua in diversi trattamenti irrigui.

Irr25 presented the highest WUE, associated to the lowest amount of water supplied through irrigation. WUE decreased with the increasing of water supplied. Sensors-guided treatment presented a WUE higher than Irr100, but lower as compared to Irr50 and Irr25.

### Conclusions

The application of different irrigation levels significantly affected plant growth and physiological parameters. Water shortage (Irr25) negatively affected plant fresh weight, but resulted in a higher dry mass accumulation. Stomatal conductance resulted the lowest in plants grown under Irr25, probably due to the water stress that induced plants to limit leaf transpiration.

WUE increased from Irr100 when water irrigation was reduced, reaching values around 40 g L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O in Irr25. It appears that, under water limiting conditions of Myanmar Central Dry Zone, both Irr25 and Irr50 resulted in higher water use efficiency and allowed for satisfactory yields. Moreover, under water scarcity situation, the use of soil moisture sensors could have a key role in reducing the amount of water for irrigation.

### References

- Sacon P., 2018. Water for agriculture, irrigation management. Applied soil ecology, 123: 793-796.
- Tripathi A.D., Mishra R., Maurya K.K., Singh R.B., Wilson D.W. 2019. Estimates for World Population and Global Food Availability for Global Health. In: The Role of Functional Food Security in Global Health. Academic Press, pp. 3-24.
- UNESCO, 2006. Water: a shared responsibility. Berghahn Books, 601 pp.

# **A EUROPEAN PROJECT TO ENHANCE KNOWLEDGE AND AWARENESS ABOUT VITICULTURE SUITABILITY UNDER CLIMATE CHANGE**

## *UN PROGETTO EUROPEO PER ACCRESCERE LA CONOSCENZA E LA CONSAPEVOLEZZA RIGUARDO LA CONVENEVOLEZZA DELLA VITICOLTURA DI FRONTE AL CAMBIAMENTO CLIMATICO*

Gloria Padovan<sup>1\*</sup>, Paolo Merante<sup>1</sup>, Luisa Leolini<sup>1</sup>, Camilla Dibari<sup>1</sup>, Marco Moriondo<sup>2</sup>, Marco Bindi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Florence, DAGRI

<sup>2</sup> CNR-IMMET, Florence

\*gloria.padovan@unifi.it

### **Abstract**

Clim4Vitis is a project funded under the European Commission action H2020-WIDESPREAD-05-2017-Twinning. By promoting the strengthening of a specific Research Institution this project mainly focuses on climate change and its potential impacts on European viticulture sector. The climate change is already resulting in variations of crop phenology patterns, crop yield and quality changes of the most important grapevine varieties with strong consequences on socioeconomic aspects of the winemaking sector. In this context, crop simulation can be useful tools for predicting present and future performances under future climate change too. Under this light, CLIM4VITIS rationale rests on two paramount research lines: 1) grapevine modelling and 2) tools for assessing climate change impacts on the European viticulture, in general, and on the grapevine productivity, quality attributes and pest and disease risk, in particular. Clim4Vitis, based on an integrated approach, aims to transfer the acquire knowledge and technology between partners, stakeholders and decision-makers.

### **Parole chiave**

Cambiamento climatico, vite, modellistica, trasferimento di conoscenze

### **Keywords**

Climate change, grapevine, modelling, transfer knowledge

### **Introduction**

Grapevine development is influenced by a highly complex and interactive system, formed by climate, soil, topography and management practices. According to the International Organisation of Vine and Wine (OIV), this system evolved towards a concept of terroir defined as “an area in which collective knowledge of the interactions between the identifiable physical and biological environment and applied viti- and viticultural practices develops, providing distinctive characteristics for the products originating from this area” (OIV, 2010, 2012). All these terroir elements strongly influence growth and the development of the different varieties of *Vitis vinifera* L., as well as yield, quality and wine type. Changing climate patterns is regarded as the foremost factor of impact in grapevine production. It plays a decisive role in ascertaining qualitative and quantitative quotients of wine being produced. Global warming has resulted in a shift of seasons and rainfall spells leading to irregular crop production cycles. The absence of optimal temperatures and adequate precipitation levels (e.g. too dry or too rainy conditions) accounts for low yields. Climate change, thus, is likely to bring about a significant decline in wine production in traditional wine producing countries, such as the Mediterranean basin areas (Sirnik et al., 2018). Recent

studies give evidence of this, and show how wine production will be geographically redistributed in Europe. The forecast grapevine yield lost can have a devastating impact on both the regional and national economy, and will have strong negative societal consequences in terms of job losses, changes of the geographical distribution of the population, among others. In a more scientific perspective, many studies have been undertaken on identifying statistical relationships between grapevine parameters and the abovementioned terroir factors (which includes climate) (Van Leeuwen, 2010). These relationships are often rendered in crop models, which have proven to be useful in predicting yields, phenology, berry development and biomass. Crop model simulations integrate current scientific knowledge from many different areas, including crop physiology, climatology/agro-meteorology, plant breeding, agronomy, soil physics/chemistry and pathology. Site-specific parameters for climate, soil, plants and crop management, among others, are defined as input in model runs. Climatic parameters, such as average, maximum and minimum near-surface temperatures, precipitation and incoming solar radiation are updated on a daily or hourly basis, while other parameters are generally kept invariant throughout the model run (e.g. soils parameters). Models describing phenological development, physiology,

photosynthesis, growth yield, pests and diseases already became important decision supporting systems for monitoring crops and for assessing the impacts of environmental conditions such as soil, weather, climate and climate change or anthropogenic interferences management decisions on crops. In fact, the simulation of crop behaviour under different conditions, scenarios and stresses are key outcomes from crop models. Therefore, crop models can help monitoring crops and planning adequate management practices (decision support). Furthermore, these models may also provide different critical scenarios for stakeholders and decision-makers under changing climates. All this information can lead to increased efficiency and to the mitigation of losses and risks in viticulture. Although many models have been applied to evaluate crop development and growth (Costa et al., 2016), few properly simulate grapevine systems (e.g. Fraga et al. 2016). Different models and approaches are currently being used in Europe for grapevine modelling, producing different outcomes. This may represent an important caveat for the significance of the ongoing research. Knowledge share and joint model inter-comparison, with all participating countries/regions, will be undertaken using the high-performance computing infrastructures at PIK. Therefore, important synergies are expected as an outcome from these interchanges. Consequently, the current initiative aims mainly at sharing / spreading already existing different approaches (dynamic modelling: PIK, UNIFI) and integrate knowledge and experiences already developed and used by UTAD (statistical approaches) and LIST (some experience in dynamic modelling). These transfers of models, technology and technical opportunities will help improving subsequent research in this field, particularly in the initiating institution – UTAD – which, in its turn, will reinforce its performance and positioning within the value chain of the entire viticulture sector. Primarily UTAD but also LIST expect to benefit in future work from the availability of existing models of grapevine and the possible use of the family of validated models represented within the Consortium. Adaption and application of the model family can open a new field of activities with regard to challenges in future viticulture under climate change. The use of the High Performance Computing Cluster at PIK will offer the opportunity for extended regional and country-wide model studies to investigate the effects of climate change on viticulture.

## Materials and Methods

Clim4Vitis is a project funded under the European Commission action H2020-WIDESPREAD-05-2017-Twinning. For this project, a consortium composed by a research institution from a Widening country (UTAD) and internationally-leading EU counterparts specialized in climate change and viticulture research and innovation is established. Clim4Vitis will lay the foundations of long-term research collaborations between partners, as well as with other external stakeholders, including actions such as

the promotion of collaborations in funded research projects, joint scientific and dissemination publications, plans for future share of research equipment and data, promotion of cooperation agreements and protocols with external research and development institutions, networking events, among others. Clim4Vitis overall twinning approach is based on the presented concept and, therefore, focused in the 3 scientific domains which, in its turn, will be addressed through 4 consecutive stages according to Figure 1.

As presented, the 4 stages refer to the starting point of the project (Stage1) where UTAD’s knowledge in domains such as climate observations, grapevine variables and parameters, and crop models and approaches (and respective technology) is reduced. Through the implementation of the foreseen Twinning activities in the project, which consists of Stage 2 of the project (Stage2), UTAD will be able to truly access and transfer the available knowledge and technology from high performing partners and move to Stage 3. Stage 3 means increase in its R&I inner capacities and performance, as well as its staff research profile, resulting in an increase of top quality publications, PhD Theses, Patent Applications, Contracts with academic and industrial partners, and also its future participation in EU funded projects. This will contribute towards the effective internationalization of UTAD, as well as to its sustainability after the project’s completion.

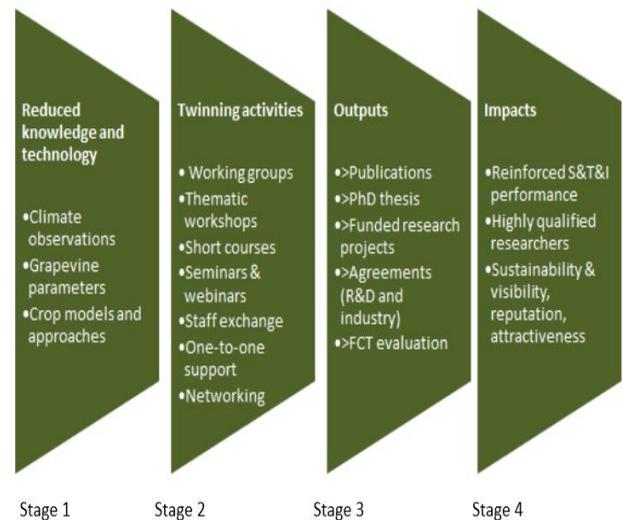


Fig.1: Clim4Vitis overall methodology  
Fig.1: metodologia generale di Clim4Vitis

Clim4Vitis is structured in 6 complementary work packages and will be implemented in 36 months. During this period, all the foreseen tasks within each work package will be developed, contributing towards the pursuit of the established objectives of the project, which will then (i) lead to the enhancement of the S&T capacity of the coordinating institution and other partners, (ii) help raising its staff research profile and (iii) enhance the coordinating

institution's visibility & participation in competitive research funding; (iv) set the basis for further future cooperation after the project conclusion.

- WP1 on "Setup, transfer and application of a commonly usable synchronized database and of a standardized grapevine model family for different European viticultural areas" enables knowledge share and sets the common foundations for the effective implementation of capacity building activities and long-term collaboration. This will also enhance UTAD's S&T capacity as well as research profile (and of other partners).
- WP2 on "Capacity building actions" foresees a set of complementary and practical activities which will enable the partners to interact and access to on-going research and cutting-edge S&T, promoting the technology and knowledge transfer, enhancing UTAD's science and technology capacity and its research profile (and of other partners).
- WP3 on "Knowledge Transfer and Capacity Building follow up and evaluation" is focused on a systematic monitoring and regular assessment of the activities and knowledge transfer in WP1 and WP2.
- WP4 on "Foundations for Long-term Sustainability" aims at ensuring that Clim4Vitis results in long-term research and innovation collaboration between partners and between UTAD and other entities.
- WP5 on "Dissemination and Outreach" is devoted to facilitating awareness, visibility, publicity, media attention and social network impact regarding the key outcomes of the Clim4Vitis and UTAD's scientific potential and achievements.
- WP6 on "Project Coordination and Management" is a horizontal work package oriented to the overall coordination and management of the project to effectively monitor the project in administrative, technical and financial terms.

## Results and Discussion

Clim4Vitis will have a significant impact on this Initiative by:

- Mitigating climate change and limiting the environmental impacts of resource use (particularly, vineyards), while strengthening and standardizing the means and methodologies to predict and correctly analyse the possible effects of climate changes in viticulture for several years to come;
- Identifying and creating new opportunities for economic growth, greater innovation and boosting the EU competitiveness, as it will promote the establishment of further and future working partnerships with academic and business stakeholders, which will undoubtedly lead to the creation and exploitation of new synergies and business opportunities and, consequently, promote innovation, economic growth and competitiveness at European level;
- Ensuring security of supply of essential resources, by creating the optimal conditions for vineyard preservation in time.

It is also important to highlight that, additionally, in April 2013, the Commission adopted an EU Adaptation Strategy to Climate Change, which complements the activities of Member States, by promoting greater coordination and information-sharing between Member States, and by ensuring that adaptation considerations are addressed in all relevant EU policies. All these aspects are particularly appropriate when climate change impacts surpass the borders of individual states – such as in viticulture – and when impacts vary considerably across regions. This is particularly important if we consider that the EU-wide cost of not adapting to climate change could reach at least €100 billion a year by 2020, rising to €250 billion a year by 2050. Thus, Clim4Vitis is also aligned with this EU Strategy, as it matches its 3 main priorities:

1. To promote action by EU countries: Clim4Vitis allows 5 partners (from 4 different member states) to develop a transnational network (which will cover stakeholders from academic/scientific, social and industrial means) focused in the promotion and adoption of a homogeneous and top-quality approach/methodology to prevent and rapidly respond to climate change impacts on European viticulture, boosting European competitiveness in this specific sector, along with its entire value chain.
2. To build adaptation to climate change into EU policies and programmes: while foreseeing the development of a White Paper on Climate Change impacts on Viticulture, the project will be an added value for providing guidance on further integrating adaptation under the Common Agricultural Policy and Cohesion Policy.
3. To turn decision-making better informed by filling the remaining gaps in knowledge about adaptation: Clim4Vitis will provide additional and valuable information that can be used to assess the costs and benefits of the adaptation strategy in this field of study, as well as its impacts at regional and local level, acting as a strategic tool in the policy-making and decision-making processes.

## Conclusions

Clim4Vitis is in line with the European priorities, contributing to one of its 7 Flagship Initiatives. Specifically, Clim4Vitis contributes towards the "Resource Efficient Europe" initiative, by promoting the strengthening of a specific Research Unit's research, development and innovation capabilities and performance in climate change and its impacts in viticulture. By doing so, Clim4Vitis will enable the general reinforcement of European capacities to anticipate the adverse effects of climate change in viticulture and allowing taking appropriate actions to prevent or minimise the damage they can cause, and, simultaneously, taking advantage of opportunities that may arise. Clim4Vitis will, therefore, actively contribute to ensuring European wine high quality, by guaranteeing its vineyards preservation and monitoring in optimal conditions, and – as a consequence – contribute to the strengthening of the European Wine sector competitiveness worldwide.

## References

- Costa, J. M., Vazc M., Escalonad J., Egiptob R., Lopesb, C., Medranod H., Chaves M. M., 2016. Agric. Water Manag., 164: 5–18.
- H. Fraga, R. Costa, J.A. Santos, 2017. Multivariate clustering of viticultural terroirs in the Douro winemaking region *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 32 (2): 142-153.
- Fraga H., García de Cortázar Atauri I., Malheiro A. C., Santos J. A., 2016. Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. *Global Change Biology*, 22: 3774–3788.
- OIV, 2012. Guidelines for vitiviniculture zoning. Methodologies on a soil and climate level. Resolution OIV-VITI 423-2012 REV1
- OIV, 2010. Definition of viticultural “terroir”. Resolution OIV/VITI 333/2010
- Sirnik I., Quénot H., Ángel Jiménez-Bello M., Manzano J., Renan Le Roux, R., 2018. Viticulture under climate change impact: future climate and irrigation modelling. E3S Web Conf. Volume 50, XII Congreso Internacional Terroir.
- Van Leeuwen, C., 2010. Terroir: The effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes. A.G. Reynolds (Ed.), *Managing wine quality: Viticulture and wine quality*, Woodhead Publishing Limited, Oxford, pp. 273-315

# ASSESSING OF THE CLIMATE CHANGE IMPACTS ON CROPS BY ADOPTING A SET OF CROP PERFORMANCE INDICATORS

## VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE COLTURE ATTRAVERSO L'ADOZIONE DI UN SET DI INDICATORI DI PERFORMANCE COLTURALE

Gloria Padovan<sup>1\*</sup>, Paolo Merante<sup>1</sup>, Luisa Leolini<sup>1</sup>, Sergi Costafreda-Aumedes<sup>1</sup>, Giacomo Trombi<sup>1</sup>, Camilla Dibari<sup>1</sup>, Lorenzo Brilli<sup>2</sup>, Marco Moriondo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Florence, DAGRI

<sup>2</sup> CNR-IMIMET, Florence

\*gloria.padovan@unifi.it

### Abstract

The Mediterranean basin is already experiencing temperature increase and rainfall reduction, which are projected to be more evident under future climate conditions. In order to appraise the climate change impacts on six crops of three Mediterranean islands, Crete Sicily and Cyprus, an approach indicators-based was adopted within the ADAPT2CLIMA project. A selected set of crop performance indicators, referring to crop phenology, physiology and productivity, for assessing the response of the crops to different climate conditions was selected. The indicators were calculated by applying three different crop simulation models: CropSyst, UNIFI.GrapeML and OLIVEmodel.CNR, under different climate conditions: the Baseline-Historical and the mead future (2031-2060) for RCP4.5 and 8.5. Although projections for all crops showed an advance of their phenological phases, the selected crops responded differently in terms of yield to climate change effects in the three analysed islands.

### Parole chiave

impatti del Cambiamento climatico, modelli colturali, indicatori colturali, isole del Mediterraneo

### Keywords

Climate change impacts, crop modelling, crop indicators, Mediterranean islands

### Introduction

The interaction of mid-latitude and tropical atmospheric circulation processes makes this area of the world as one of the most sensitive area to climate change (Giorgi, 2006). For instance, in the last century the Mediterranean basin experienced a generalized decrease of precipitation and the related water availability (Sousa et al., 2011; Narrant and Douguédroit, 2006), a significant annual warming trend (+0.75°C) especially during winter and summer (Vautard et al., 2007; EEA, 2012) and an increase in climate extremes (i.e. day with minimum and maximum temperature, heavy precipitation, etc.) (Rodda et al., 2010; Ulbrich et al., 2013). These changes in climate conditions have negatively affected the whole agricultural sector of the regions around and within the basin. A joint combination between drought and heat stress can negatively affect the physiological status of the plants (Barnabás et al., 2008; Alves and Setter, 2004), thus reducing crop growth and gross primary production of terrestrial ecosystems (Ciais et al., 2005). A brief overview about the impacts of climate extremes on European agriculture in the years 2003 and 2012, whose climate pattern is comparable to that expected for the last decades of the 21st century, is highlighted in Brilli et al. (2014). Such changes can determine economic losses of more than 13 billion euros for the agriculture and forestry sectors (i.e. 2003) (Copa-Cogeca, 2003). In particular, for the regions around the Mediterranean basin, the main losses

were due to a strong decrease in quantity and quality of harvests, with sensible damages for cereals (JRC/IES MARS Unit, 2012) and tree crops. Despite future climate projections are affected by uncertainties, the major part of the studies over the Mediterranean basin suggested a worsening of climate pattern, which is expected to show a further increase of temperature and a decrease of total amount of precipitation associated with an increase in intensity.

In this context, this study, belonging to the Activity 4.2 'Use of crop models for assessing the vulnerability of agriculture to climate change' of the ADAPT2CLIMA project (Adaptation to Climate change Impacts on the Mediterranean islands' Agriculture, LIFE14 CCA/GR/000928), is focused on assessing the impacts of future climate on agricultural sector of three Mediterranean Islands (Crete Sicily and Cyprus), by means of crop models. This analysis is therefore essential in order to provide indications to reduce crop vulnerability. The use of crop models, indeed, can enable evaluating benefits provided by the adoption of adaptation strategies compared to the current management (O'Leary et al., 2015; Chenu et al., 2017). In the specific, alternative practices can be tested through modelling so as to prevent production losses, which might be expected under unchanged management.

## Materials and Methods

In order to simulate the crop performances under different climate conditions, three different crop simulation models have been used, namely: CropSyst, OlivemodlCNR and UNIFI.GrapeML. The three crop simulation models have been calibrated by adjusting the cultivar parameters of different crops. With regard to CropSYST, an individual calibration process was run for each of the following annual crops: barley, wheat, tomato and potato. Instead, UNIFI.GrapeML was calibrated for three grape cultivars, i.e. Chardonnay, Sangiovese and Cabernet Sauvignon, differing for the budbreak date, while OLIVEmodl.CNR was calibrated for two varieties (i.e. precocity levels), which differ for their flowering date. For each calibrated crop, statistical parameters were calculated (i.e. Mean, Standard deviation, Mean bias error, Root mean square deviation, R2 Coefficient) and analysed. After the calibration phase, simulations were performed under three different climate conditions: the Baseline-Historical, which is based on a CO<sub>2</sub> concentration of 360 ppm in the time slice 1971-2000, the RCPs (Representative Concentration Pathways) 4.5 and 8.5 referring to a CO<sub>2</sub> concentration of 485 and 540 ppm respectively both, covering the period 2031-2060 (Fig. 1).

Scenarios			Sowing/Precocity
Climate scenarios	CO <sub>2</sub> concentration (ppm)	Time slice	
Baseline	360	1971-2000	4 Sowing seasons (annual crops)
RCP 4.5	485	2031-2060	3 Levels of precocity (perennial crops)
RCP 8.5	540	2031-2060	

Fig.1- Crop Simulation Scenarios  
Fig.1- Scenari di simulazione colturale

While the climate scenarios were designed by applying the Global Climate Model, MOHC (Met Office Hadley Centre) and the Regional Climate Model SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute), the Harmonized World Soil Database by FAO was used to take into consideration the main various soil textures and hydrologic properties characterizing the soils of the three islands under study. In order to effectively analyse the crop performances under different climatic conditions, for each crop, different sowing seasons or precocity levels were taken into consideration. More in detail, for the annual crops (barley, wheat, tomato and potato) the simulations were run considering four different periods for sowing that can be conceptually summarized as follows: early, early-medium, medium-late and late. For each crop, different dates were identified to represent the four sowing periods. Instead, with regard to the perennial crops grapevine and olive tree, precocity levels were set and based on the budbreak date and the flowering date, respectively. The sowing seasons and precocity levels adopted for annual and perennial crops, respectively, are summarized in Figure 2.

Despite the several outcomes produced by the crop simulation models, four performance indicators were selected to summarize the performances of the six selected crops: the Flowering and Maturity date regarding the crop phenology; the ratio between Actual Evapotranspiration and the Potential Evapotranspiration (AE/PE), covering physiological aspects; the yield in order to analyse the biomass changes. Changes were calculated by the difference between the baseline (historical) and the two different future climate scenarios (i.e. RCP4.5 and RCP8.5, time slice 2031-2060), further taking into consideration the different sowing seasons and precocity levels. In order to understand the impact severity of the future climate change on the crop yield in the three Mediterranean islands, four extreme events were considered.

BARLEY		POTATO	
Early Autumn	10 November	Early Autumn	15 September
Late Autumn	30 November	Late Autumn	20 October
Winter	31 January	Early winter	15 November
Spring	15 February	Late Winter	25 December

WHEAT		TOMATO	
Early Autumn	10 November	Early Winter	30 January
Late Autumn	30 November	Late Winter	28 February
Winter	31 January	Early Spring	30 March
Spring	15 February	Late Spring	30 April

GRAPEVINE		
Precocity	Budbreak	Harvest
Early	80-90	235-240
Medium	100-110	260-270
Late	110-130	265-275

OLIVE TREES		
Precocity	Flowering	Harvest
Early	145-155	240-270
Late	160-170	300-330

Fig2- Sowing seasons and precocity levels  
Fig.2- Epoche di semina e livelli di precocità

The extreme events refer to an extreme environmental condition in terms of temperature or water availability (from precipitation) that may occur in specific years in each grid point of the three islands. In order to appraise the impacts of the extreme events on crop performances, we analyzed and compared the crop yield that occurred within the extreme years (the year in which the extreme event happened) in the RCP 8.5, with the average yield that occurred in the Baseline of the same grid point (Delta calculation, Δ).

To understand the effects of the extreme events (dry, wet, hot and cold conditions), the following conditions have been taken into consideration:

-dry conditions: for each grid point, among the 30 generated years for the baseline and for the RCP8.5, it is the year in which the lowest average annual total rainfall occurs;

-wet conditions: for each grid point, among the 30 generated years for the baseline and for the RCP8.5, it is the year in which the highest average annual total rainfall occurs;

-hot temperatures: for each grid point, among the 30 generated years for the baseline and for the RCP8.5 it is the year in which the highest average annual maximum temperature occurs;

-cold temperatures: for each grid point, among the 30 generated years for the baseline and for the RCP8.5, it is the year in which the lowest average annual minimum temperature occurs.

To be note that, only the pixels characterized by a yield reduction compared to the baseline were taken into consideration (i.e.  $-\Delta$ ).

## Results and Discussion

Calibration results showed satisfactory performances of crop models for all considering crop.

The results about the models application showed that in all location under future climate change and considering all sowing dates and cultivar precocity, an advance in the phenological stages compared to the baseline was observed with more emphasis under RCP8.5. In general, under baseline conditions, earlier sowing dates and early cultivars led to an advance in the phenological phases.

Similar trends were simulated under future conditions, in which regarding the different sowing dates, a more advance in the flowering date compare to the baseline for all crops in the earlier sowings, about 20 days, and for the earlier cultivars, about 10 days was simulated. Only for the early autumn potato, a delay flowering was suggested in all locations for both scenarios. Among the perennial crops, in Sicily and in Cyprus, the grapevine phenology seemed to be less affected by future conditions compared to the olive tree. Instead, in Crete, the olive tree seemed to be more sensitive to future climate change.

The general increase in the evapotranspiration ratio compared to the baseline condition, suggested that the irrigation treatments should be adopted, especially under future scenario RCP8.5. In Cyprus, barley and potato, in Sicily all crops except the perennial, and in Crete all crops need irrigation treatments to compensate the evapotranspiration water loss.

Regarding the crops' production, at baseline conditions and also in general under future climate change, by delaying the sowing dates, a reduction of yield was expected. Among crops and locations, different magnitude of changing in yield production compare to the baseline was expected under future climate change conditions.

In the three islands, a higher number of analysed pixels characterized by yield reduction was predicted under RCP4.5 rather than in RCP8.5, where, likely, the higher CO<sub>2</sub> concentration generate positive effects on yield offsetting the negative effects due to precipitation pattern variations. This was particular evident in Crete and Sicily,

instead in Cyprus, except for olive tree, similar results were simulated under both future scenarios.

By delaying sowing dates and cultivar precocity, in general, a higher number of pixels with yield loss were simulated. Results indicate that in the pixels characterized by a negative  $\Delta$ , the average (considering all sowing seasons) yield loss can be very different in the three islands. For instance, in Sicily, and referring to the RCP 4.5 only, it ranges between 5 and 10 % for all crops but the grapevine, which instead shows an average yield loss by 17% (Table 1). In Cyprus the average yield loss is similar to Sicily with the only exception for tomato in which an average loss of more than 18% is simulated. Instead, in Crete, the average of yield loss is around 15% for all crops with the exception of tomato and olive tree in which this loss is around 5% on average. Nevertheless, within each crop the maximum yield loss can be very high. For instance, in Sicily for barley, wheat and tomato under RCP4.5 the predicted maximum loss -24%, -35%, -30%, respectively, for potato -50% (in both RCPs), for olive tree -25% (in both RCPs and cultivar precocity) and grapevine -75% (in the late cultivars of both RCPs). In Cyprus, tomato (-53% and -47% under 4.5 and 8.5 RCPs, respectively) and grapevine (-50% and -64% under 4.5 and 8.5 RCPs, respectively) are expected to be characterized by a major yield reduction. In Crete, all crops, except olive tree, are characterized by a maximum yield reduction higher than 15%, with more emphasis under RCP4.5 (barley and wheat -55%; tomato -29%, potato and grapevine -60%). These very high predicted yield losses may suggest that some locations (namely the analysed pixels) may lose their attitude to cropping specific crops in the future, whether they are currently devoted to agricultural production.

Tab.1 - Crops' yield response compared to the baseline among sowing seasons, precocity levels and future climate scenarios for Sicily, Cyprus and Crete for the cases with yield loss.

Tab.1: Risposta delle rese colturali comparata allo standard tra epoche di semina, livelli di precocità e futuri scenari climatici per la Sicilia, Cipro e Creta per i casi con perdite di resa.

Crop	Sowing season/ Precocity	Sicily		Cyprus		Crete	
		-Δ RCP4.5 (%)	-Δ RCP8.5 (%)	-Δ RCP4.5 (%)	-Δ RCP8.5 (%)	-Δ RCP4.5 (%)	-Δ RCP8.5 (%)
Barley	EA	-7	0	-5	-5	-18	-8
	LA	-6	0	-5	-4	-15	-9
	WIN	-6	-4	-9	-10	-13	-10
	SP	-8	-6	-11	-13	-12	-7
Wheat	EA	-6	-4	-8	-9	-12	-7
	LA	-6	-2	-4	-5	-18	-8
	WIN	-5	-7	-8	-9	-15	-10
	SP	-7	-9	-10	-16	-16	-11
Tomato	EW	-6	-6	-7	-4	-4	-3
	LW	-6	-7	-11	-9	-5	-4
	ES	-5	-4	-24	-26	-9	-10
	LS	-26	-25	-33	-36	-29	-28
Potato	EA	-14	-14	-9	-8	-13	-13
	LA	-10	-12	-7	-7	-13	-11
	EW	-9	-12	-6	-4	-14	-13
	LW	-10	-14	-10	-7	-12	-7
Olive tree	EAR	-9	-6	-3	-3	-4	-1
	LATE	-11	-8	-8	-9	-5	-3
Grapevine	EAR	-10	-7	-8	-12	-14	-15
	MED	-16	-10	-13	-25	-17	-13
	LATE	-24	-16	-25	-39	-28	-23

Regarding to the extreme events, Crete is resulted as the more sensitive to dry future conditions compared to the other islands, with more than 70% of pixels characterized by yield reduction for tomato, grapevine and olive tree, barley and wheat both for late sowings. Only potato is characterized by a number of pixels with yield reduction less than 50%. Considering the three islands, the grapevine was characterized by the highest yield reduction, followed by potato and tomato. Under future wet conditions, Cyprus is suggested to be the most sensitive island, with the highest number of pixels characterized by yield reduction, with all crops with more than 40% of pixels with yield loss. All islands differed from each other, in terms of more sensitive crop: in Sicily and in Crete it was the potato crop, followed by wheat, instead, in Cyprus it was the grapevine, followed by tomato. Under hot future weather conditions, for all locations, more than 30% of pixels is characterized by yield reduction. In particular, in Cyprus, Sicily and Crete more than 60% of the analysed pixels are characterized by yield reduction for all crops, excepted for potato in Sicily and tomato in Crete. While in Sicily and Cyprus, potato and grapevine are the most sensitive to hot conditions, in Crete are barley, wheat and potato.

Under future cold weather conditions, all islands were sensitive to climate conditions. In particular, in all of them the higher number of pixels with yield loss are observed for tomato and grapevine. Instead, regarding the crop sensitivity, in Sicily the highest yield loss is simulated for

potato, while the perennial crops are the most sensitive in Crete and Cyprus.

## Conclusions

This study focused on assessing the impacts of future climate on agricultural sector over the three Mediterranean islands Crete, Cyprus and Sicily, can provide important information about the main strategies which could be used to cope with the forecasted impacts of climate on crop productivity.

Results firstly suggested that crop behaviour and performances mainly depend on geographical area (Crete, Cyprus and Sicily), management (i.e. sowing date), and cultivar precocity.

We suggest not to delay too much the sowing date and to use early or medium cultivar not to affect the crop yield. Moreover, results suggested that in all locations and also for cereals, the irrigation treatments would be desirable under future climate conditions, especially in RCP8.5. The pixels' analysis has shown that both under future climate conditions and under future extreme events, some areas might not be able to ensure crop growth and crop development and so, they probably would lose their agricultural suitability.

In conclusion, these results, providing an indication of the level of vulnerability of the studied crops, should be considered as a starting point to deal with issues on climate change as well as agronomic requests for farmers in the study areas.

## References

- Alves A.C. and Setter T.L., 2004. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: cell proliferation, cell expansion and delayed development. *Ann. Bot.*, 94: 605-613.
- Barnabás B., Jäger K. and Fehér A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ.*, 31: 11-38.
- Brilli L., Moriondo M., Ferrise R., Dibari C., Bindi M., 2014. Climate change and Mediterranean crops: 2003 and 2012, two possible examples of the near future. *Agrochimica*, Vol. LVIII – Special Issue
- Chenu K., Porter J. R., Martre P., Basso B., Chapman S. C., Ewert F., Bindi M., Asseng S., 2017. Contribution of crop models to adaptation in wheat. *Trends in Plant Sci.* 22: 6.
- Ciais P., Reichstein M., Viovy N., Granier A., Ogee J., Allard V. et al., 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529-523.
- Copa-Cogeca, 2003. Assessment of the impact of the heat wave and drought of the summer 2003 on agriculture and forestry. Committee of Agricultural Organizations in the European Union and the General Committee for Agricultural Cooperation in the European Union, Brussels.

- EEA 2012: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator based report. Report No.12.
- Giorgi F., 2006. Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.* 33, L08707.
- JRC/IES, 2012: Available at <http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/Bulletins-Publications>.
- Norrant C. and Douguédroit A., 2006. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000). *Theor. Appl. Climatol.* 83: 89-106.
- O'Leary G. J., 2015. Response of wheat growth, grain yield and water use to elevated CO<sub>2</sub> under a free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) experiment and modelling in a semi-arid environment. *Global Change Biology* 21: 2670-2686.
- Sousa P. M., Trigo R. M., Aizpurua P., Nieto R., Gimeno L. and Garcia-Herrera R., 2011. Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean. *Nat. Hazard. Earth Sys.* 11: 33-51.
- Rodda J. C., Little M. A., Harvey J. E. and McSharry P. E., 2010. A comparative study of the magnitude, frequency and distribution of intense rainfall in the United Kingdom. *Int. J. Climatol.* 30: 1776-1783.
- Ulbrich U., Xoplaki E., Dobricic S., García-Herrera R., Lionello P., Adani M. et al., 2013. Past and current climate changes in the Mediterranean region. In: *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean* (Navarra A. and Tubiana L., eds.). Springer Science Business Media, Dordrecht.
- Vautard R., Yiou P., D'andrea F., De Noblet N., Viovy N., Cassou C. et al., 2007. Summertime European heat and drought waves induced by wintertime Mediterranean rainfall deficit. *Geophys. Res. Lett.* 34, L07711.

# IL CAMBIAMENTO CLIMATICO NELL'APPENNINO BOLOGNESE E CONSEGUENZE SULLA PRODUZIONE DI ENERGIA EOLICA *CLIMATE CHANGE IN THE APPENNINES OF BOLOGNA AND OUTCOMES ON WIND ENERGY PRODUCTIONS*

Francesco Meluzzi<sup>1</sup>, Rodica Tomozeiu<sup>2\*</sup>, Roberta Monti<sup>2</sup>, Vittorio Marletto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ALMA MATER STUDIORUM - Università di Bologna, Via Zamboni33, 40126 Bologna

<sup>2</sup>ARPAE-SIMC - Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna, Via Po 5, 40139 Bologna

[\\*rtomozeiu@arpae.it](mailto:rtomozeiu@arpae.it)

## Abstract

The climate change in Emilia-Romagna is evident both in the plain and in the Apennines. In response to this challenge one of the most effective tool in the energy sector is to increase the implementation of the renewable sources to produce electricity. One of the most promising source at large-scale is wind energy, source also used in Emilia-Romagna region to produce about 25 MW electric. The plant with the highest power installed in the Apennines is that of Casoli di Romagna (BO), which is also the case of study of the present work. The wind speed at 10m is the main weather-climatic variable involved in the estimation of wind power.

Daily temperature and precipitation for Casoli di Romagna, extracted from Eraclito 4.2 data set, and wind speed, registered at station and from the ERA-Interim data set, were considered to describe the climatic profile of the case study. Trends at seasonal and annual level for temperature and precipitation were analyzed and tested from statistical point of view, over the period 1961-2015. Moreover, analysis of the frequency for different wind velocity classes were considered on the available observed period, with focus on the ones relevant for wind energy production, according to the power curve relative to the type of turbine of the plant. Climate projections of temperature and precipitation derived from statistical downscaling technique applied to CMCC-CM model and preliminary results of changes in wind speed derived from Cosmo-Clim EURO-CORDEX simulations, in the framework of RCP4.5 emission scenario are presented. Changes in the frequency for different classes of wind speed over 2021-2040 and 2061-2080 periods are evaluated with respect to 1986-2006. The preliminary results underlay for the Casoli di Romagna a small increase in the frequency of class with velocity between 5-10m/s over 2061-2080 with respect to 1986-2006 in the framework of RCP4.5 emission scenario.

**Parole chiave:** profilo climatico, vento, modelli climatici regionali, downscaling statistico, scenari emissivi

**Keywords :** climate profile, wind, regional climate model, statistical downscaling, emission scenario

## Introduzione

Il clima del nostro pianeta sta cambiando e ciò è messo in evidenza dall'incremento delle temperature globali dell'aria, degli oceani, dallo scioglimento diffuso dei ghiacci e dall'innalzamento globale del livello del mare (IPCC, AR4 2007).

L'analisi delle serie storiche delle principali grandezze meteorologiche (es. temperatura e precipitazioni) misurate in diversi punti di un'area geografica, il loro valore medio e la varianza contribuiscono allo studio della variabilità climatica passata o presente e rappresentano uno strumento per la valutazione dei possibili cambiamenti climatici futuri. Tali studi implicano, per definizione, l'utilizzo di vaste scale spaziali e temporali. Nello specifico, quando si parla di variabilità climatica si devono intendere le fluttuazioni statistiche che di anno in anno si registrano attorno al valore medio. Viceversa, il cambiamento climatico è una variazione significativa del valore medio registrato in un dato periodo, di solito trentennale, rispetto al periodo climatico di riferimento. Questa variazione può essere dovuta a fattori naturali oppure di origine antropica. I periodi climatici di riferimento usati negli studi sono: 1961-1990, 1971-2000, oppure 1981-2010.

La media e la varianza vengono calcolate utilizzando i dati osservati per il clima del passato e del presente,

mentre per quanto riguarda il clima futuro queste due proprietà statistiche sono ricavate dai risultati delle simulazioni dei modelli numerici o statistici, opportunamente calibrati.

Nel presente studio è stata elaborata un'analisi climatica presente e futura su un'area dell'Appennino Bolognese-Casoli di Romagna. Su tale area sono stati analizzati i dati di temperatura, di precipitazione e di velocità del vento sia nel periodo presente 1961-2015 ma anche nel futuro con focus sul periodo 2021-2040 e 2061-2080, con lo scopo di analizzare la presenza di un eventuale cambiamento climatico che porta anche a mutamenti nella produzione di energia eolica.

Per fare questo studio è stato preso in considerazione uno dei pochi parchi eolici presenti in Emilia-Romagna, quello di Casoli di Romagna compreso tra i comuni di Monterenzio, posizionato a 207 metri sopra il livello del mare e Castel del Rio (Bo), posizionato a 215 metri sopra il livello del mare. Il parco eolico si estende su una vasta area pedemontana e spazia dagli impianti idroelettrici alle centrali termoelettriche, a quelle di cogenerazione e teleriscaldamento oltre ad impianti fotovoltaici ed eolici.

## Materiali e Metodi

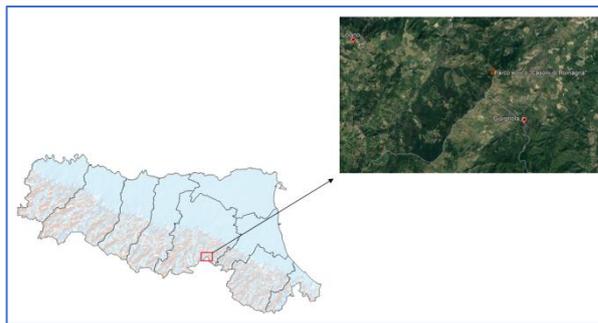
La conoscenza del clima a livello regionale e locale è essenziale per una gestione sostenibile del territorio ed una corretta pianificazione.

La caratterizzazione climatica per l'area di studio, Casoni di Romagna, è stata effettuata con l'analisi dei dati di temperatura e precipitazioni estratti dal data set ERA-CLITO versione 4.2, ([https://www.arpae.it/dettaglio\\_documento.asp?id=6147&idlivello=1528](https://www.arpae.it/dettaglio_documento.asp?id=6147&idlivello=1528), periodo 1961-2015). Il data set di Eraclito contiene: temperature massime, minime giornaliere e precipitazione cumulata giornaliera, disponibili per un numero di punti griglia che ricoprono l'intera regione la cui disponibilità temporale va dal 1961 al 2015. Il data set è stato ottenuto tramite una interpolazione spaziale su una griglia regolare di 5x5km a partire dai valori rilevati da stazioni meteorologiche storiche di temperatura e precipitazioni (Antolini et al., 2015). Da questo data set regionale è stato selezionato il punto di griglia più vicino all'impianto eolico, cioè Giugnola (44° 13' 14" N, 11° 27' 4" E), località al confine tra Emilia-Romagna e Toscana, situata sia nel comune di Castel del Rio (BO) che di Fiorenzuola (FI) e si trova a un'altitudine di circa 500m s.l.m (Figura 1).

Nell'analisi dei dati di velocità del vento a causa di serie temporale più corte, si sono utilizzate molteplici fonti di dati :

- dati dalla stazione meteo di Casoni di Romagna che è entrata in funzione circa nel 2006, quindi una serie abbastanza corta però utile per il confronto con dati provenienti da altre fonti ;
- dati giornalieri osservati di velocità media del vento dalla stazione di Loiano (44° 16' 0" N, 11° 19' 0" E), situata nel comune di Bologna, è stata scelta sia per la presenza di dati su un periodo più lungo rispetto a Casoni di Romagna (cioè 1991-2018) sia per la similarità morfologica con il sito del parco eolico di Casoni. Infatti essa si trova a un'altitudine di 714 m s.l.m., mentre l'impianto di Casoni si trova a 727 m s.l.m;
- dati dal portale Copernicus climate data set (<https://cds.climate.copernicus.eu>) dove si è utilizzato il data set dalle reanalisi ERA-INTERIM per il periodo 1976-2016, di cui si è preso in considerazione lo stesso periodo dei dati dalla stazione sopra indicata per confrontare la bontà di tale data set.

Inoltre, tale confronto è necessario per avere un periodo precedente al 1991 da utilizzare anche per testare la bontà del modello climatico, analizzato in seguito per gli scenari futuri. In particolare, verificata la bontà del data set ERA-INTERIM, si estrae poi il periodo 1986-2006, considerata come clima di riferimento.



*Fig.1 Mappa regione Emilia-Romagna con la posizione dell'impianto eolico di Casoni di Romagna e i punti di griglia utilizzati per la caratterizzazione climatica (Giugnola e Loiano)*

*Fig.1. Map of Emilia-Romagna region, the location of Casoni di Romagna plant and of the grid points used to design local climate profile (Giugnola and Loiano)*

Lo studio delle temperature e precipitazioni è stato fatto a livello stagionale e annuo. Tendenze e cambiamenti sul periodo 1961-2015 sono state analizzate nella serie di dati di Giugnola.

Lo studio della velocità del vento è stato effettuato focalizzando soprattutto sull'analisi di frequenza per diverse classi di velocità:

- tra 0 e 0,5 m/s;
- tra 0,5 e 3 m/s (calme);
- tra 3 e 5 m/s (brezze leggere);
- 5 e 10 m/s (brezze vivaci e i venti leggeri);
- maggiori di 10 m/s (venti sostenuti).

Per il profilo climatico futuro sono stati presi in considerazione le proiezioni climatiche di temperatura e precipitazione ottenuti attraverso il downscaling statistico applicato al modello climatico globale CMCC-CM (Tomozeiu et al., 2017). Per quanto riguarda il vento, la variabile principale dello studio, sono stati presi in considerazione le simulazioni EuroCordex (<https://esgf-data.dkrz.de/search/cordex-dkrz/>) del modello climatico regionale COSMO-CLM con risoluzione 12km (zona EUR-11) innestato nel modello globale CNRM. In questo caso è stato analizzato il punto di griglia del modello più vicino all'impianto Casoni di Romagna. Dati giornalieri di velocità del vento a 10m, del periodo di run di controllo, 1986-2006, e dei periodi futuri 2021-2040, 2061-2080. Cambiamenti futuri, rispetto al clima 1986-2006, nella velocità del vento per le classi presentate in precedenza sono prese in discussione. Le simulazioni climatiche future sono state analizzate tenendo conto dello scenario emissivo RCP4.5. L'International Panel for Climate Change (IPCC AR5, 2014) utilizza un set di 4 scenari, denominati Representative Concentration Pathways (RCP), identificati dalla loro forzante radiativa espressa in W/m<sup>2</sup> e rappresentativi di un ventaglio di politiche climatiche da adottare nel XXI secolo. Questi scenari includono: uno scenario di mitigazione (RCP2.6), due scenari di stabilizzazione (RCP4.5 e RCP6.0) e uno scenario con emissioni di gas serra molto alte (RCP8.5). Le

concentrazioni prestabilite di CO<sub>2</sub> entro il 2100 sono pari a 421 ppm per RCP2.6; 538 ppm per RCP4.5; 670 ppm per RCP6.0 e 936 ppm per RCP8.5.

## Risultati e Discussione

### a) Profilo Climatico Osservato

La caratterizzazione climatica dell'area di studio ha evidenziato tendenze di aumento della temperatura, minima e massima, sia a livello stagionale che annuo. La tabella 1 mostra il coefficiente di tendenza calcolato sul periodo 1961-2015 per le temperature massime e minime, espresso in °C/10anni ( in grassetto valori significativi al 95%, test di Kendall-Tau)

Tab.1 Coefficiente di tendenza della temperatura minima e massima, periodo 1961-2015(°C/10anni)

Tab.1 Trend coefficients of seasonal minimum and maximum temperature over the period 1961-2015(°C/10years)

	Inverno (°C/decade)	Prim. (°C/decade)	E state (°C/decade)	Autunno (°C/decade)	Annuo (°C/decade)
<b>Tmax</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>
<b>Tmin</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>

Come si può notare, per il periodo 1961-2015, il segnale di incremento a livello annuo è più forte nelle temperature massime (0.5°C/10anni) che nelle minime (0.1°C/decade). A livello stagionale, l'estate è la stagione con un incremento maggiore e, soprattutto nelle massime (0.8°C/10anni). Sempre per le temperature massime, si nota anche un aumento non trascurabile nelle altre stagioni (vedi tabella1).

Inoltre, l'andamento delle anomalie di temperature massime estive sul lungo periodo mostra come soprattutto dopo 1990 le anomalie registrate sono state tutte positive arrivando anche fino a 4°C nel 2003. Inoltre, si notano anche le estati del 2012 e 2015 con anomalie di circa 2.5°C e 2°C rispettivamente.

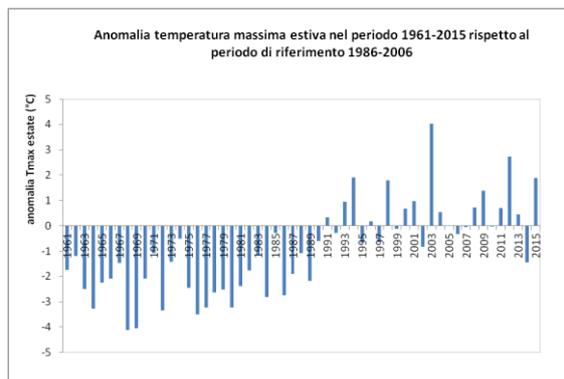


Fig.2 – Andamento dell'anomalia di temperatura massima media estiva a Giugnola sul periodo 1961-2015 rispetto al periodo di riferimento 1986-2006

Fig.2 The variability of summer anomalies of maximum temperature at Giugnola, period 1961-2015 with respect to 1986-2006

Lo studio dell'andamento della quantità di precipitazione, sempre per il caso di studio preso in considerazione, mostra una tendenza di diminuzione a livello annuo, non significativa statisticamente. A livello stagionale, la tendenza di diminuzione si mantiene durante l'inverno (circa -11mm/10anni) ed estate (-6 mm/10anni), mentre una leggera tendenza ad aumento è stata ottenuta durante l'autunno. Nessun segnale di tendenza significativo da punto di vista statistico per il periodo 1961-2015 è stato ottenuto per la primavera. Anche se i segnali di tendenza non sono significativi, per la precipitazione è importante analizzare le anomalie registrate, stagione per stagione. La figura 3 mostra l'andamento dell'anomalia estiva di precipitazione sul periodo 1961-2015 calcolata rispetto al periodo 1986-2006. Come si può notare, nelle ultime due decadi hanno predominato gli anni con anomalie negative, in alcuni anni anche molto intense, ma sul lungo periodo 1961-2015 la tendenza è leggermente negativa.

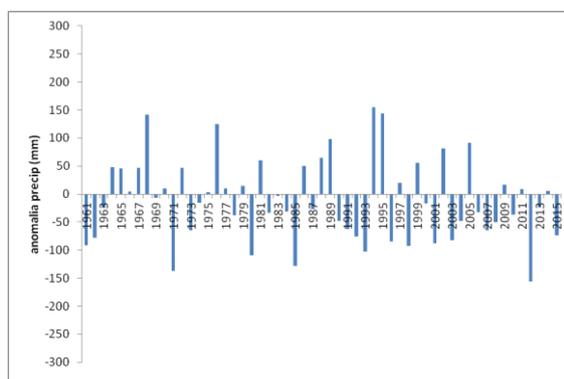


Fig.3 – Andamento dell'anomalia di precipitazione estiva a Giugnola sul periodo 1961-2015 rispetto al periodo di riferimento 1986-2006

Fig.3 The variability of summer anomalies of precipitation at Giugnola, period 1961-2015 with respect to 1986-2006

Passando all'analisi della velocità del vento, utilizzando in questo caso i dati della stazione di Loiano ( più vicina all'impianto eolico), i risultati mostrano che per la classe

con velocità più alte (di interesse per lo studio, cioè tra 5 e 10m/s) sono stati registrati circa 16% dei casi annui, mentre per quella maggiore di 10m/s sono stati registrati circa 5% dei casi annui (vedi Figura 4).

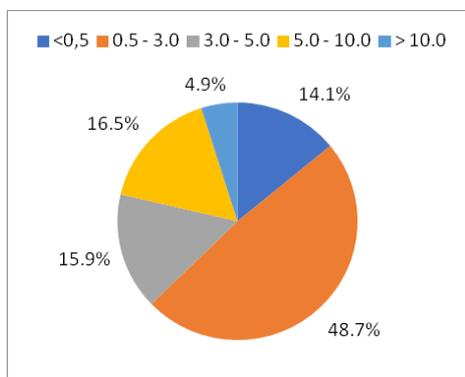


Fig. 4 – Distribuzione della frequenza per classi di velocità media del vento a 10 m per la stazione di Loiano, periodo 1991-2018

Fig. 4 – Distribution of the frequency of wind velocity at 10m using different classes, Loiano station, period 1991-2018

Una distribuzione simile della frequenza, soprattutto per le ultime 2 classe di velocità più alta, è stata ottenuta anche per il punto di griglia del data set Era-Interim vicino a Loiano, per il periodo comune, mentre alcune differenze sono state ottenute per le classi di velocità più bassa (sovrastima Era-Interim di circa 3-4%). Tali differenze sono da attribuire anche alla differenza nelle caratteristiche di localizzazione dei punti. Questi risultati indicano la possibilità di utilizzare per il vento anche il data set ERA-Interim come data set osservativo, soprattutto nei punti d'interesse dove mancano dati storici della stazione. Infatti, questo metodo è stato utilizzato di seguito nell'analisi successiva condotta per testare la bontà delle simulazioni della velocità del vento nel modello regionale COSMO-CLM, sul periodo di run di controllo, 1986-2006.

#### b) Profilo Climatico Futuro

Per quanto riguarda le proiezioni future di temperatura, i risultati ottenuti attraverso la tecnica di regionalizzazione statistica (Tomozeiu et al., 2017) applicata al data set regionale dell'Emilia-Romagna e alle uscite di un solo modello climatico globale (CMCC-CM), per il periodo 2021-2050 e per lo scenario RCP4.5 mostrano un aumento delle temperature minime in tutte le stagioni, con un valore medio regionale di circa 1.5 °C rispetto al 1971-2000, leggermente più alto durante l'estate. Inoltre, sempre a livello regionale, un aumento della temperatura massima in tutte le stagioni, più intenso durante l'estate (circa 2.5°C), seguita dalla primavera (circa 2°C), inverno e autunno (1.5°C), rispetto al periodo di riferimento 1971-2000 (SRACC, 2018). Gli scenari di precipitazione mostrano per la regione Emilia-Romagna una possibile diminuzione delle precipitazioni primaverili ed estive (media regionale di circa 10%) per il periodo 2021-2050 rispetto al 1971-1990 e un probabile aumento

di circa il 20% per l'autunno (media regionale). Per quanto riguarda la stagione invernale la configurazione è più complessa, anche se non significativa, con un aumento nella pianura e una diminuzione sull'Appennino. Passando alla variabile di interesse per l'impianto eolico, cioè la velocità del vento, dal modello regionale COSMO-CLM sono state estratte le simulazioni giornaliere della velocità del vento su 3 punti di griglia attorno all'impianto per i quali sono state valutate le frequenze delle classi di velocità presentate in precedenza, sia sul periodo di run di controllo 1986-2006 che per due periodi futuri 2021-2040 e 2061-2080, simulazioni con lo scenario RCP4.5.

I risultati preliminari hanno evidenziato una sovrastima della velocità media del vento del modello COSMO CLM nel periodo di control run 1986-2006, rispetto al data punto di griglia di Era-Interim. Per il periodo 2021-2050 e per le classi di velocità superiore ai 5m/s il modello non evidenzia segnali di cambiamento rispetto al periodo 1986-2006, mentre un leggero aumento è stato ottenuto nel periodo 2061-2080.

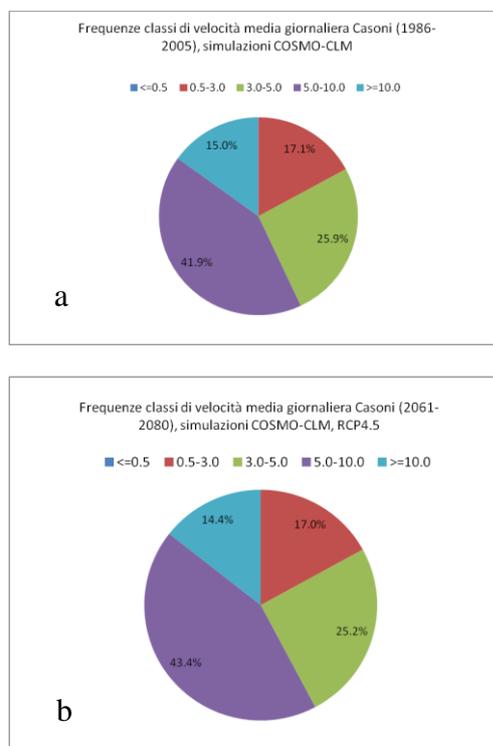


Fig.5 Distribuzione della frequenza per classi di velocità media del vento a 10 m, simulazioni del modello COSMO-CLM periodo 1986-2006 (a) e 2061-2080 (b, scenario RCP4.5

Fig.5 Distribution of the frequency of wind velocity at 10m on different classes, simulation of COSMO-CLM model, control-run 1986-2006 (a); 2061-2080 (b, scenario RCP4.5

La figura 5 mostra i risultati preliminari della distribuzione di frequenza della velocità del vento a 10m, media sui tre punti vicino all'impianto, nel periodo di run di controllo 1986-2006 (a) e periodo futuro 2061-2080 (b), scenario RCP4.5.

Come si può notare dalla distribuzione presentata

nella figura 5, i risultati preliminari mostrano che per le classi di velocità più basse non si attendono cambiamenti mentre quella compresa tra 5 e 10m/s è previsto un leggero aumento.

Risultati simili sono stati evidenziati su un'area più grande (europea) da Moemken et al.(2017) con un ensemble di modelli regionali, dal data set Euro Cordex, con risoluzione 12 km, indagando la velocità del vento per intervalli non giornalieri, ma di tre ore. Inoltre, lo studio indica come attraverso una mappa probabilistica della velocità del vento a 10 m è possibile estrapolare le velocità a 100 m (altezza tipica rotore turbine) per stimare poi gli output energetici delle turbine (GWh). Con questa metodologia si stimano futuri cambiamenti stagionali ed annuali nella produzione di energia eolica, nella variabilità del vento e negli eventi estremi come le lunghe calme dei venti.

### **Conclusioni**

Lo studio evidenzia un cambiamento climatico in atto nell'area di studio dell'Appennino bolognese cioè quello di Casoli di Romagna. Il cambiamento climatico è evidente per le temperature e precipitazioni sia presenti che future. Per quanto riguarda la velocità del vento, il modello COSMO-CLM per il periodo 2061-2080 indica un probabile leggero aumento per la classe di velocità compresa tra 5-10m/s.

I modelli climatici permettono di formulare scenari di cambiamento climatico a diverse scale spaziali ma presentano anche un certo grado di incertezza.

Vari studi hanno dimostrato che la riduzione dell'incertezza può essere affrontata ricorrendo alla definizione di uno scenario futuro più probabile mediante la tecnica di "ensemble", cioè mediante l'utilizzo di più modelli insieme, tecnica che si prevede di applicare in futuro anche per questo studio.

### **Bibliografia**

- Antolini G., Auteri L., Pavan V., Tomei F., Tomozeiu R., Marletto V., 2015. A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961–2010 *International Journal of Climatology* 08/2015; DOI:10.1002/joc.4473
- IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker T.F., D. Qin, G.-K., Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- SRACC- Strategia per il cambiamento climatico della regione Emilia-Romagna ,2018  
[https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/cambiamenti-climatici/materiali-vari/documenti\\_vecchia\\_versione/strategia-regionale-per-i-cambiamenti-climatici](https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/cambiamenti-climatici/materiali-vari/documenti_vecchia_versione/strategia-regionale-per-i-cambiamenti-climatici);
- Tomozeiu R., Pasqui M., Quaresima S. 2017. Future changes of air temperature over Italian areas: a

statistical downscaling technique applied to 2021-2050 and 2071-2100 periods. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 130(5): 543-563.

Moemken J., Reyers M., Feldmann H., Pinto J. G., 2018. Wind speed and wind energy potentials in EURO-CORDEX ensemble simulations: evaluation, bias-correction and future changes, *JGR Atmospheres*, 123: 6373-6389.

# PHENOLOGICAL DEVELOPMENT OF HOP (*HUMULUS LUPULUS* L.) IN THE EMILIA-ROMAGNA REGION

## SVILUPPO FENOLOGICO DEL LUPPOLO (*HUMULUS LUPULUS* L.) IN EMILIA-ROMAGNA

Ulisse Carlino<sup>1</sup>, Antonio Volta<sup>1,2\*</sup>, Guido Baldoni<sup>1</sup>, Federico Magnani<sup>1</sup>, Fausto Tomei<sup>2</sup>, William Pratzzoli<sup>2</sup>, Gabriele Antolini<sup>2</sup>, Vittorio Marletto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DISTAL Alma Mater Studiorum Università di Bologna, viale Fanin 50, 40127, Bologna (Italy)

<sup>2</sup> Arpae-SIMC, viale Silvani 6, 40122, Bologna (Italy)

\*[avolta@arpae.it](mailto:avolta@arpae.it)

### Abstract

In recent years the production of craft beer has shown a strong upsurge in Italy, which has become the fourth producer in Europe. In Italy, hops is almost completely imported from nations where it is traditionally grown. We investigated the possible phenological development of hop in the Emilia-Romagna region by means of an agrometeorological modelling. The main phenological stages were computed using the climatic data of the regional grid ERG5, which provides data of several meteorological parameters on a regular grid with a 5 x 5 km mesh, covering the whole region.

### Parole chiave

luppolo, sviluppo fenologico, modellistica agrometeorologica

### Keywords

hop, phenological development, agrometeorological modelling

### Introduction

Hop (*Humulus lupulus* L.) is a perennial crop cultivated between 35° and 50° latitude. Despite Italy is included in this range and spontaneous varieties colonize several wild areas across the country, its cultivation is limited to very small fields. The 2017 was a booming year for the Italian beer (Cason et al., 2018): production increased up to 15.6 millions of hectoliters whose 2.7 millions for export (+7.9%). Per capita consumption achieved 31.8 liters per year (highest record). Italian breweries import over 90% of the raw materials, with hops skirting the 100%. In 2017 the Italian hops demand was around 3,672 t year<sup>-1</sup>. Dry hops are imported especially from Germany (90%, approximately), Poland, Czech Republic, Slovenia, Belgium, England, USA and New Zealand. The costs vary from 8 €/kg, up to 80 €/kg for some New Zealand varieties. The national decree n. 212/2010, defining beer as an "agricultural product", boosted the production of beers from local raw materials. The interest for the production of a beer not only 100% "made in Italy" but 100% local and the new tendency of producing craft beers with fresh hops has increased the farmers' interest for this crop. In this paper we present a study about the phenological development of hop cv. "Cascade" across the Emilia-Romagna region.

### Materials and Methods

Climatic data (daily max and min temperatures) were taken from the ERG5 database (Antolini et al., 2016). ERG5 is a grid 5 km x 5 km who covers the whole Emilia-Romagna region through the interpolation of data from the public

weather stations. Base temperature equal to 5 °C and thermal thresholds for sprouting, flowering, development of cones and maturity of cones were set after the study of Rossini et al., 2016.

We chose the cv. "Cascade" for it is an early variety that gives the highest yields in different regions of the World. Table 1 reports its thermal thresholds from the above cited publication, relative to Central Italy.

*Tab.1 – Thermal thresholds (°D) for hop cv. "Cascade" at sprouting, flowering, development of cones, and maturity of cones. Base temperature is set equal to 5 °C.*

*Tab.1 – Soglie termiche (°D) del luppolo cv. "Cascade" al germogliamento, fioritura, sviluppo dei coni e maturazione dei coni. La temperatura di base è di 5 °C.*

Sprouting	Flowering	Development of cones	Maturity of cones
243.0	820.4	1040.0	2099.3

### Results and Discussion

Generally, sprouting occurs around the day 7<sup>th</sup> of April (Fig. 1), flowering on the 25<sup>th</sup> of May (Fig. 2). Development of cones normally happens on the 12<sup>th</sup> of June (Fig. 3) and their maturity on the 6<sup>th</sup> of August (Fig. 4). Large difference in the vegetative cycle length were detected between areas located in plain, hills and mountains. On the Apennines the cycle can last up to 50 days more than in the Po valley. Part of the regional

mountains resulted not suitable even for early variety hop cultivation because of too cold climatic conditions. In Fig. 5 we show the cells where the cones reached the full ripening before 1<sup>st</sup> of October are highlighted (red and green cells). Places where cones do not reach the maturity threshold before this date were considered unsuitable. It must be remarked that water requirement has not been considered in this feasibility study. This need could reveal the necessity of irrigation, restricting the suitable area for hop cultivation. Further studies should take into account also the well-known photoperiodic sensitivity of hop.

### Conclusions

At a regional level, we determined the suitable areas for the growth of an early variety of hop, for now based only on temperature records. The conclusion is that in Emilia Romagna, below 800 m a.s.l. hop can reach almost everywhere the full ripening of cones within a period acceptable for its cultivation.

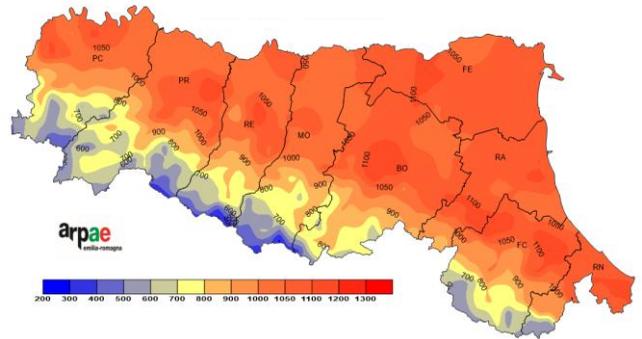


Fig.3- Thermal sum with  $T_{base} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  at the 12/06. Computation is fed by the climatic mean 2001-2018.

Fig.3 – Sommatoria termica con temperatura base pari a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  il giorno 12/06. Il calcolo è stato eseguito con la media climatica 2001-2018.

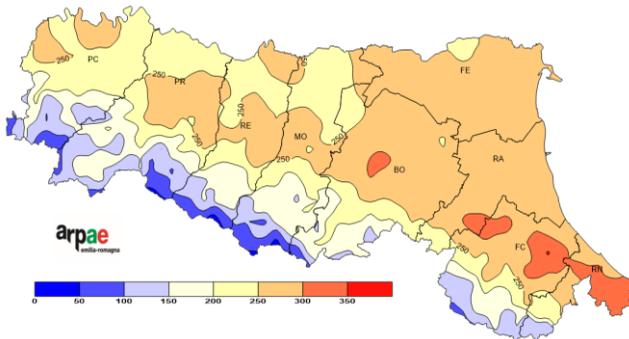


Fig.1- Thermal sum with  $T_{base} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  at the 07/04. Computation is fed by the climatic mean 2001-2018.

Fig.1 – Sommatoria termica con temperatura base pari a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  il giorno 07/04. Il calcolo è stato eseguito con la media climatica 2001-2018.

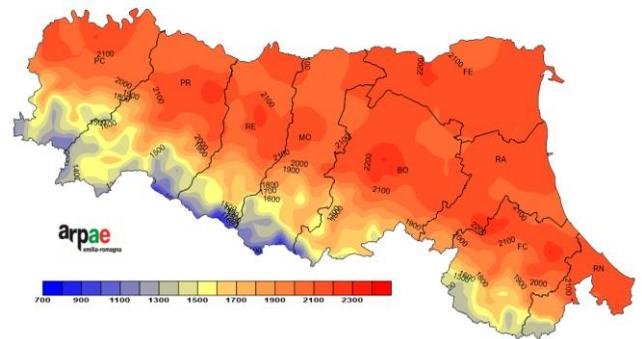


Fig.4- Thermal sum with  $T_{base} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  at the 06/08. Computation is fed by the climatic mean 2001-2018.

Fig.4 – Sommatoria termica con temperatura base pari a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  il giorno 06/08. Il calcolo è stato eseguito con la media climatica 2001-2018.

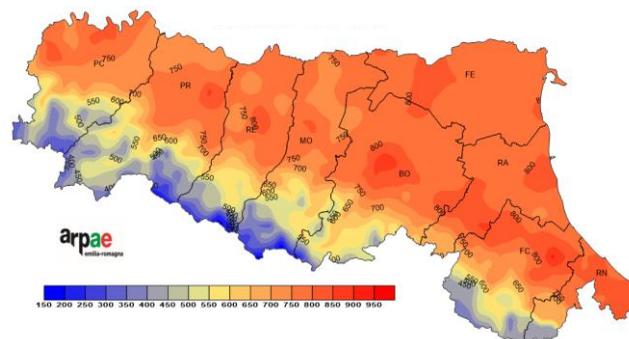


Fig.2- Thermal sum with  $T_{base} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  at the 25/05. Computation is fed by the climatic mean 2001-2018.

Fig.2 – Sommatoria termica con temperatura base pari a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  il giorno 25/05. Il calcolo è stato eseguito con la media climatica 2001-2018.

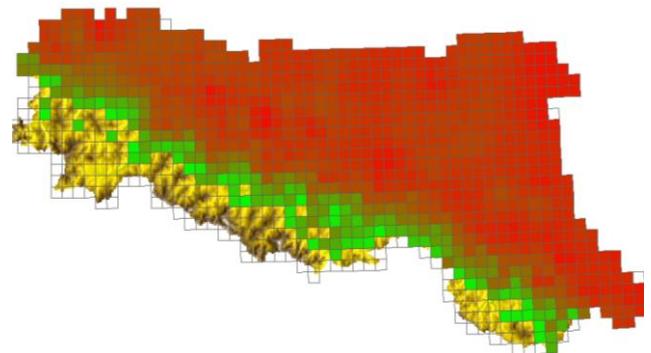


Fig.5- Suitable (based on temperatures) cells for hop cultivation (red and green cells)

Fig.5 – Celle adatte (in base alle temperature) alla coltivazione del luppolo (celle rosse e verdi).

## References

Antolini G., Tomei F., 2006. Praga - Programma di Analisi e Gestione dati Agrometeorologici. Proceedings of the AIAM conference “Agrometeorologia e gestione delle colture agrarie”, Torino 6-8 giugno 2006, pp 79-82.

Antolini G., Auteri L., Pavan V., Tomei F., Tomozeiu R., Marletto V., 2016. A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961–2010. *International Journal of Climatology*, 36(4): 1970-1986.

Cason M. *et al.*, 2018. Assobirra Annual Report 2017. [https://www.assobirra.it/wp-content/uploads/2018/06/AnnualReport\\_2017.pdf](https://www.assobirra.it/wp-content/uploads/2018/06/AnnualReport_2017.pdf)

Rossini F., Loreti P., Provenzano M.E., De Santis D., Ruggeri R., 2016. Agronomic Performance and Beer Quality Assessment of Twenty Hop Cultivars Grown in Central Italy. *Italian Journal of Agronomy* 11(3): 180-187.

# EXPLORING THE USE OF WEATHER TIME SERIES FROM HOBBY METEOROLOGISTS FOR CROP MODELLING APPLICATION IN URBAN AGRICULTURE

## *USO POTENZIALE DELLE SERIE TEMPORALI METEOROLOGICHE AMATORIALI NELLA MODELLIZZAZIONE COLTURALE IN AGRICOLTURA URBANA*

Filiberto Altobelli <sup>1\*</sup>, Flavio Lupia<sup>1</sup>, Francesco Cirone <sup>1</sup>, Giuliano Gabrieli <sup>1</sup>, Iraj Namdarian<sup>1</sup>, Marco Vassallo<sup>1</sup>, Anna Dalla Marta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CREA– Research Centre for Agricultural Policies and Bioeconomy, via Po 14, 00195, Roma (RM)

<sup>2</sup> DAGRI – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università di Firenze, Piazzale delle Cascine 18 - 50144, Firenze

[\\*filiberto.altobelli@crea.gov.it](mailto:filiberto.altobelli@crea.gov.it)

### **Abstract**

Climate change is a challenge for urban agriculture with potential escalation throughout the upcoming years. Recently, temperatures and precipitations have respectively increased and intensified. These impacts have important effects on crop yields and expected profitability. Consequently, crop modelling becomes relevant for understanding the soil-plant-atmosphere system. The availability of weather time series provides insights on the variability of yield's patterns to better address climate change risks. To the best of our knowledge, there are no in situ long-term agrometeorological data available for urban areas. In this study, we explore the potential benefits of using weather time series shared by hobby meteorologists through the portal Weather Underground (<http://www.wunderground.com>) as a new input for crop modelling applications in urban agriculture by summarising the main strengths and weaknesses of the available datasets in the urban area of Rome (Italy).

### **Parole chiave**

Modelli colturali, serie storiche, agricoltura urbana, cambiamento climatico, irrigazione, stazioni meteo

### **Keywords**

Crop modelling, time series, climate change, citizen weather station, urban agriculture, irrigation

### **Introduction**

Climate change in the coming years will unquestionably have decisive effects on urban agriculture. The distribution and intensity of precipitation, such as the increase in temperatures are now ascertained. These impacts have important effects on crop yields and expected profitability. As a consequence, crop modelling becomes relevant to the soil-plant-atmosphere system. The availability of weather conditions provides insights into the variability of yield patterns to better address climate change risks. In this respect, there are many in situ long-term agro-related data available for urban agriculture areas. Besides, weather stations can be a strong tool for recovering, controlling and managing weather conditions forecast for urban agriculture. According to Simon Bell et al, 2015, a Citizen Weather Station (CWS) is defined as a weather station set up by a member of the public for whom the following terms of weather enthusiast, volunteer, hobbyist and amateur observers are fitting descriptions. The stations are often utilized for personal interest and hobbies rather than for some job commitment. The deployment of CWS is still growing due to the low cost and the easy installation.

This is the reason why Citizen Weather Stations are often located in the owner's garden and mostly clustered around urban and suburban areas (Simon Bell et al. 2015). Once connected to an internet station, it is possible to automatically upload observations at sub-hourly intervals within a dedicated website. This becomes a huge weather data repository at the end of the uploading process. The high temporal and spatial resolution of the freely available CWS data potentially lends itself useful to many applications. Additionally, long-term meteorological series can be utilized in climate change scenarios. Furthermore, CWS data could be used for crop modelling or for high-resolution weather prediction, and to post-process model output. Despite the large potential and promising use of these freely available CWS time series, the quality and reliability of these data might present raises some concerns. This study explores the potential benefits of using weather time series shared by hobby meteorologist through the portal Weather Underground agrometeorological input for crop modelling applications in urban agriculture by summarising the main strengths and weaknesses of the available datasets in the urban area of Rome (Italy). Specifically, the paper focuses on the assessment of CWS

data completeness into the Municipality of Rome (MR) that extends for 1,285 km<sup>2</sup> (Fig.1).

### Materials and Methods

The CWS data available in the MR were identified by using a weather station registered on the Wundermap website (<https://www.wunderground.com>). A total of 67 Citizen Weather Stations were detected within the municipality boundaries. These stations provide various time series with meteorological variables that are registered and uploaded with relatively high frequency, between 15 - 30 minutes.

The first step was to search for available tools for the automatic downloading of the CWS data from Wundermap. An applicative tool called Ocarbon (<http://ocarbon.com/wunderground-weather-data-downloader/>) was found and thus utilized for downloading of the time series from each CWS in Wundermap by simply providing individualizing the corresponding identification code (ID).

The download was carried out starting from the first record of each weather stations until March 2019.

Then, two databases were created. The first one, named CWS registry database, collects the main characteristics of each CWS: identification code (ID), name, latitude and longitude, elevation, hardware, software, start and end date of the data series, and completeness of the time series.

The second database, CWS time series, contains all the available weather variables registered with the given frequency for each CWS for the relative time series. Overall, more than 10<sup>6</sup> records were generated into several field corresponding to the following variables: date/time/temperature/dewpoint/humidity/wind\_speed/wind\_gust\_speed/wind\_dir\_degrees/wind\_dir/pressure/windchill/heatindex/precip/precip\_rate/precip\_1hr/precip\_toda/solar radiation/uv\_index/temperature\_indoor/humidity\_indo/software\_type/ event/ conditions.

The two databases were used for assessing the geographic distribution of the CWS and the level of completeness of the time series. The latter was carried out by using the statistical open source programme R.

### Results and Discussion

Geographical analysis (Fig.1) of the CWS distribution shows a clear non-spatial uniformity within the MR with a concentration (39 out 67) inside the great ring road around Rome. These stations are mainly located central and southeaster part of Rome, while a low percentage of stations are in the Western and the Northern part of the city. Results of Registry database shows a high level of completeness of data for all the 65 CWSs identified (only two did not collect data meaningfully). These results are important because they highlight the length of the weather station time series. In fact, the oldest CWS provides a weather time series of 8 years. This is the biggest weather time series available for the Municipality of Rome. Three

CWS have a time series long around 3-4 years, while the average of the weather stations (25 on the total of 65) have a time series long around one year a half. While, the most recent stations identified have not been more than 1 years of life.

In order to evaluate the possible use of agrometeorological data as input for a crop modelling application to urban agriculture on MR and thus explaining the water productivity, an agrometeorological missing data analysis was carried out from the numerical database for the following variables: a) temperature, b) humidity, c) pressure, d) wind speed, e) precipitation, f) solar radiation (Table 1). The pressure is the most complete time series with a level of data missing around 15% following by the precipitation with 18% of missing. Even though temperature and wind speed show a good level of completeness, their percentage of missing data is around 26%. The humidity is the second-high percentage data missing with 41% of the level, whereas the highest value of missing data is 76% for solar radiation. This value represents the highest level of incompleteness of the whole weather data time series for this distribution.

### Conclusion

The results of the analysis highlight some relevant aspects of the completeness of weather data quality in Rome. In general, the weather stations collect a huge amount of data for the MR. In general, CWS represents a good tool for weather data collection.

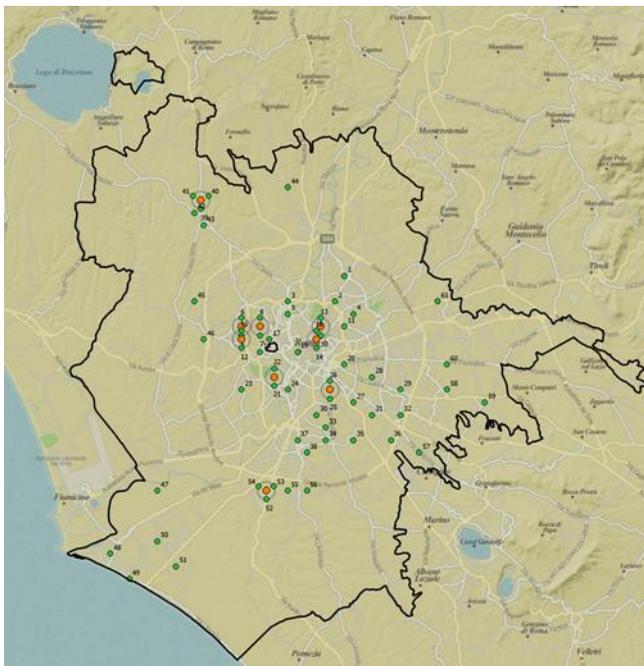
The CWS time series database has more than 10<sup>6</sup> records and the results the analysis highlights a high level of completeness of data. Due to the position and numerosity of CWS, using these data for crop modelling could be an outstanding opportunity for investigating the complex and growing phenomenon of urban agriculture, the practice to grow crops inside cities. In fact, urban areas are characterized by microclimatic conditions difficult to be reproduced by using classic wheatear stations.

Even though a lot of stations are still “young”, and the time series is not long enough, the current situation offers a large availability of data, especially for future applications. Furthermore, the availability of weather time series provides insights on the variability of yield's patterns to better address climate change risks.

As demonstrated by the geographic analysis, a high level of data coming from weather stations distribution inside the urban context of Rome effectively exists, while in the rural area is still low. Despite the fact that a huge amount of data has been collected, this analysis has highlighted some weaknesses too. In fact, one of the main issues was related to time-consuming for data entry and data download. Wundermap, in fact, does not allow downloading whole times series for the CWS.

In conclusion, the weather time series from the CWS network is appealing and help to analyse and collect data on urban microclimate and weather phenomena. Using the CWS data in the aforementioned applications raises concerns about data quality, thus a data quality check system would be required.

Finally, results using the statistical open source programme R shows good level of completeness of weather time series for specific variables collected in the Municipality of Rome that can offer a good database for future crop modelling applications.



*Fig. 1- Spatial distribution of the 67 Citizen Weather Station within the Municipality of Rome. Green points over circles indicate clustered stations in the orange locations. Fig1: distribuzione spaziale delle 67 stazioni meteo cittadine nella municipalità di Roma. I punti verdi sopra le circonferenze indicano stazioni raggruppate nelle aree arancioni.*

<b>Variables</b>	<b>% Tot</b>	<b>% Tot</b>
	<b>Station Data Missing</b>	<b>Station Data Missing &gt; 5%</b>
<b>Solar Radiation</b>	76%	66%
<b>Humidity</b>	41%	9%
<b>Temperature</b>	26%	7%
<b>Wind Speed</b>	26%	12%
<b>Precipitation</b>	18%	9%
<b>Pressure</b>	15%	3%

*Tab. 1 - Agrometeorological missing data analysis of CWS time series database*

*Tab.1- Analisi dei dati agrometeorologici mancanti del database delle serie temporali delle CWS*

## References

Bell S., Cornford, D., & Bastin, L., 2015. How good are citizen weather stations? Addressing a biased opinion. *Weather*, 70(3): 75–84.

<http://www.wunderground.com>  
<http://oco-carbon.com/wunderground-weather-data-downloader/>

# MONITORAGGIO DELLA STABILITÀ MECCANICA DEGLI INDIVIDUI ARBOREI TRAMITE UN SENSORE GNSS A BASSO COSTO

## MONITORING OF MECHANICAL STABILITY OF ARBOREAL INDIVIDUALS BY GNSS LOW-COST SENSORS

Virginia Coletta<sup>1,\*</sup>, Alessandra Mascitelli<sup>1,2</sup>, Pierluigi Bombi<sup>3</sup>, Bruno De Cinti<sup>3</sup>, Stefano Federico<sup>1</sup>, Giorgio Matteucci<sup>4</sup>, Augusto Mazzoni<sup>2</sup>, Valerio G. Muzzini<sup>3</sup>, Igor Petenko<sup>1</sup>, Stefano Dietrich<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Atmospheric Sciences and Climate, National Research Council of Italy, Rome, Italy

<sup>2</sup> Geodesy and Geomatics Division, Sapienza University of Rome, Rome, Italy

<sup>3</sup> Institute of Research on Terrestrial Ecosystems, National Research Council of Italy, Montelibretti, Rome, Italy

<sup>4</sup> Institute for Agricultural and Forest Systems in the Mediterranean, National Research Council of Italy, Ercolano, Naples, Italy

\* [virginia.coletta@yahoo.it](mailto:virginia.coletta@yahoo.it)

### Abstract

The aim of this study is to test the applicability of GNSS receivers for monitoring the movement of trees associated with the wind. The analysis was carried out locating a single frequency GNSS receiver at the top of the trunk of an Italian stone pine (*Pinus pinea* L.) and evaluating the results obtained in terms of speed, positions and frequencies. Subsequently, the values obtained were correlated to the characteristics of the wind. Preliminary goal of the experimental activity was investigating the quality of the data obtainable. Then, once error statistics were analysed, it was possible to investigate the time series of position, speed and frequency of trunk oscillation during wind storms. The presence of an anemometer, placed at almost 20 m from the object of study, allowed us to analyze the correlation between wind speed and tree movements. This experiment is a first step towards designing an autonomous early warning and monitoring sensor system in the near future.

### Parole chiave

GPS, Albero, Vento

### Keywords

GPS, Tree, Wind

### Introduzione

Negli ultimi anni si sta assistendo ad impattanti modifiche dal punto di vista climatico, le quali sempre più si palesano attraverso l'insorgenza di fenomeni meteorologici molto intensi, caratterizzati da venti con velocità molto alte. Le sollecitazioni sempre maggiori, dovute al vento, compromettono la stabilità degli individui arborei, comportando un serio rischio per persone, oggetti, strutture e infrastrutture. Per poter far fronte a questi fenomeni, prevenendo la caduta degli alberi, è fondamentale conoscere la relazione che lega le grandezze del vento con l'oscillazione della pianta.

Lo scopo di questo studio è quello di testare l'applicabilità dei ricevitori Global Navigation Satellite System (GNSS), di cui il Global Positioning System (GPS), ora definito NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS), è il più noto, per monitorare i movimenti degli alberi conseguenti all'azione del vento. Il caso studio qui riportato si riferisce ad un'analisi sperimentale effettuata su un Pino cembro italiano (*Pinus pinea* L.). La sperimentazione è stata effettuata attraverso l'utilizzo di un unico ricevitore GNSS a singola frequenza di basso costo (€ 200-300), collocato a una distanza inferiore a 10 km rispetto ad un ricevitore di classe geodetica facente parte della rete permanente NetGEO. Il ricevitore GNSS ha raccolto dati ogni secondo per circa due mesi, da metà novembre 2017 alla prima settimana di gennaio 2018. Questi dati comprendono eventi

ventosi di varia intensità e tipologia, che consentono uno studio sufficientemente completo dell'impatto del vento sul Pino.

L'obiettivo preliminare dello studio è stato quello di valutare la qualità dei dati ottenibili dal sensore, che per questo tipo di applicazione è necessario porre in una posizione non ottimale per la ricezione del segnale; la chioma dell'albero che circonda l'antenna GNSS potrebbe infatti risultare causa di errori quali multipath e cycle slip. Dopo aver stimato l'accuratezza dello strumento nelle condizioni descritte, è stato possibile monitorare, durante eventi ventosi, gli spostamenti del tronco in termini di posizione, velocità e frequenza di oscillazione. Un anemometro sonico è stato installato molto vicino al Pino (circa 20 metri), al fine di registrare in modo indipendente le componenti del vento (velocità, direzione) e la turbolenza. Questo ci ha permesso di studiare la correlazione tra il vento (causa) e i movimenti dell'albero (effetto). In prospettiva l'uso del GNSS per il monitoraggio degli alberi potrebbe avere vantaggi dovuti alla sempre maggiore diffusione di questa tecnologia.

### Materiali e Metodi

#### *Strumentazione utilizzata*

##### *Anemometro sonico*

Le misurazioni delle componenti del vento sono state effettuate attraverso un anemometro/termometro sonico,

uSonic-3 Metek Scientific (<https://metek.de/product/usonic-3-scientific>), installato ad un'altezza di circa 9 m sopra il tetto di un edificio che dista circa 20 m dal ricevitore GNSS. Utilizzando queste misurazioni, sono stati calcolati i valori medi della velocità e della direzione del vento, nonché le deviazioni standard di tutte le componenti del vento.

### **Ricevitore GNSS**

In questo studio è stato utilizzato un sensore GNSS a singola frequenza (u-blox M8T Leica Geosystems) collocato nella parte superiore del tronco dell'albero e collegato ad un pc posto nell'edificio adiacente. Con i dati raccolti è stata effettuata un'analisi degli spostamenti dell'albero in termini di velocità e posizione. Per elaborare questi ultimi si è fatto ricorso ad un metodo di posizionamento relativo [Leick, 2004] utilizzando un ricevitore geodetico (FIAN fornito da Netgeo) situato a circa 8 chilometri dall'albero.

### **Processamento dati**

#### **Vento**

Per ottenere informazioni precise sulla velocità e la direzione del vento con alta risoluzione temporale, è stato utilizzato l'anemometro sonico ad una frequenza di campionamento di 40 Hz. Mediando i dati ogni 4 valori, le serie temporali delle tre componenti del vento x, y e z sono state registrate in un data-logger CR3000 di Campbell con frequenza di 10 Hz. La risoluzione spaziale è determinata in base alla distanza tra le coppie trasduttore/ricevitori pari a 0,20 m. I picchi sono stati determinati ed eliminati durante l'elaborazione dei dati, la loro percentuale è stata poi utilizzata per un successivo controllo sulla qualità dei dati. Ogni blocco vettoriale [x, y, z] è stato indicizzato per trovare i punti con uno scostamento anomalo rispetto alla media; ovvero, quando sottraendo al valore reale il valore medio si otteneva uno scarto esterno all'intervallo prestabilito ( $\pm 10$  m/s). Il metodo di planar fit [Lee et al. 2004] è stato utilizzato per correggere i dati da possibili errori causati dall'inclinazione del supporto, applicando una rotazione 2D nelle coordinate del vento medio. Per l'analisi della correlazione tra velocità del vento e movimento dell'albero, le componenti direzionali, est e nord, sono state calcolate mediando i dati ogni secondo.

Un altro parametro, che è stato considerato in queste analisi, è l'energia cinetica turbolenta (TKE). In generale, la TKE può essere quantificata con la media delle sollecitazioni normali di turbolenza:

$$TKE = \frac{1}{2} (< u'^2 > + < v'^2 > + < w'^2 >) \quad (1)$$

dove  $u'$ ,  $v'$  e  $w'$  sono fluttuazioni delle componenti longitudinale, laterale e verticale del vento.

#### **Albero**

##### **Velocità**

L'analisi delle componenti della velocità dell'albero è stata condotta attraverso l'utilizzo del software VADASE (Variometric Approach for Displacements Analysis Stand-alone Engine). L'approccio è di tipo variometrico e applicabile ad un ricevitore stand-alone [Colosimo et al., 2011].

I dati registrati dal ricevitore a singola frequenza (LOW4) posto sull'albero sono stati processati con RTKCONV, applicativo di RTKLIB, per convertirli dal formato UBX (specifico formato u-blox) al formato RINEX (Receiver Independent Exchange Format). Per quanto riguarda i dati navigazionali, abbiamo utilizzato quelli registrati dalla stazione MOSE, una stazione IGS (International GNSS Service) situata sul tetto della Facoltà di Ingegneria de "La Sapienza" Università di Roma, così da avere informazioni affidabili. I dati dei diversi giorni, caratterizzati da differenti condizioni di vento, sono stati poi processati con il VADASE ottenendo risultati in termini di velocità.

##### **Posizioni**

Per quanto riguarda la determinazione delle posizioni, è stato utilizzato il software RTKLIB, un toolkit GNSS open source per eseguire posizionamenti standard e precisi [Takasu et al., 2009]. I file RINEX sono stati ottenuti utilizzando lo stesso procedimento (RTKCONV) impiegato per i dati di velocità ed elaborati tramite RTKPOST, un eseguibile di RTKLIB. Si è utilizzato il metodo differenziale, impostando il posizionamento sia statico che cinematico [Leick, 2004]: il primo è servito ad ottenere una posizione di riferimento, mentre il secondo è stato finalizzato allo studio del movimento. Per condurre questa analisi, sono stati necessari anche dati di osservazione relativi ad una stazione di riferimento che, in questo caso, risulta essere un ricevitore situato a circa 8 chilometri dall'albero, a Fiano Romano (Roma). Il ricevitore è la stazione FIAN, appartenente alla rete Netgeo e i dati ancillari necessari per l'elaborazione sono stati forniti dal CODE (Center for Orbit Determination in Europe). I file sono stati elaborati per giornate con condizioni di vento differenti e tagliati con un test CE90 (Circular Error with 90% probability) [Eq. 2] in modo da valutare un intervallo per la rimozione degli outliers.

$$CE90 = \frac{2.146}{\sqrt{2}} \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2} \quad (2)$$

### **Risultati e Discussione**

L'albero in esame, situato all'interno dell'area di ricerca di Montelibretti del CNR - RM1, si trova in prossimità di un edificio che copre parte del suo tronco, il che potrebbe interagire con la sua crescita e di conseguenza con il suo comportamento. Di fronte all'edificio e all'albero passa una strada, mentre gli altri lati della pianta sono sostanzialmente liberi e caratterizzati da una distesa di terreno incolto (Fig:1).

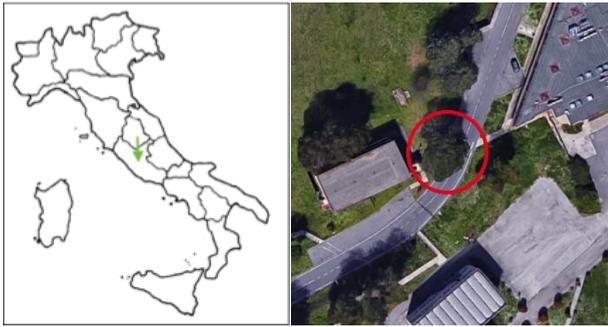


Fig. 1: Geolocalizzazione

Fig. 1: Geolocation

L'albero è alto circa 13 metri e ha un diametro (DBH) di circa 60 centimetri, il sensore è posto ad un'altezza di 11,30 metri.

Il periodo di monitoraggio (51 giorni) è stato, in generale, caratterizzato da venti con basse velocità. In particolare, per 42 giorni è stata registrata una velocità a media oraria inferiore a 4 m/s, mentre soltanto per 9 giornate si è verificata almeno per un'ora una velocità media superiore. Durante questi giorni sono state osservate due direzioni prevalenti del vento: proveniente da Sud-est (Scirocco) e proveniente da Nord-ovest (Maestrale). In queste giornate si è notato un aumento anche dell'energia cinetica turbolenta (TKE).

Come primo passo si è deciso di valutare il comportamento del sistema in condizioni di quiete, ovvero in giornate senza vento. I giorni presi in considerazione appartengono tutti alla stessa settimana di Novembre 2017. Le posizioni dell'albero, durante queste giornate, sono state ottenute attraverso il posizionamento statico e per ogni giorno sono state ricavate le mediane delle coordinate geocentriche.

Tab. 1: Mediane coordinate geocentriche

Tab. 1: Medians geocentric coordinates

Doy	X	Y	Z
	[m]	[m]	[m]
322	4624594.959	1036919.530	4254167.129
323	4624594.963	1036919.523	4254167.137
324	4624594.962	1036919.541	4254167.148
326	4624594.967	1036919.540	4254167.154
328	4624594.971	1036919.539	4254167.159

È presente una ripetibilità nel risultato, infatti la variazione tra le mediane nei diversi giorni è molto bassa, questo significa che la soluzione è stabile.

Relativamente alle stesse giornate di quiete sono state svolte ulteriori indagini statistiche con il fine di conoscere l'accuratezza del sensore. Per le due componenti direzionali, Est e Nord, delle grandezze velocità e posizione, sono state calcolate media, deviazione standard e RMSE (errore quadratico medio). Proprio quest'ultimo ci fornisce un'indicazione sulla bontà dei dati registrati.

Tab. 2: RMSE posizioni

Tab. 2: RMSE positions

Doy	RMSE <sub>E</sub>	RMSE <sub>N</sub>
	[m]	[m]
322	0.061	0.058
323	0.071	0.068
324	0.059	0.047
326	0.068	0.049
328	0.059	0.043

Tab. 3: RMSE velocità

Tab. 3: RMSE velocities

Doy	RMSE <sub>E</sub>	RMSE <sub>N</sub>
	[m/s]	[m/s]
322	0.0020	0.0030
323	0.0020	0.0030
324	0.0020	0.0020
326	0.0020	0.0020
328	0.0010	0.0020

Si può notare osservando i valori dell'RMSE che il sensore è in grado di registrare i movimenti dell'albero con una buona accuratezza: qualche cm per le posizioni e qualche mm/s per le velocità.

Successivamente si è proceduto con il monitoraggio in giornate ventose. In particolare, per un primo studio sono stati presi in considerazione due giorni, 26 Novembre e 17 Dicembre 2017, in cui la velocità del vento supera, almeno per un'ora, i 4 m/s. Il 26 Novembre 2017 (giorno 330 nel calendario GPS) si presenta una situazione molto particolare perché il vento cambia direzione a metà giornata; la mattina è diretto verso Nord-Ovest, mentre il pomeriggio tira verso Sud-Est. Il 17 Dicembre (giorno 351 nel calendario GPS) è invece caratterizzato da vento in direzione Sud-Est.

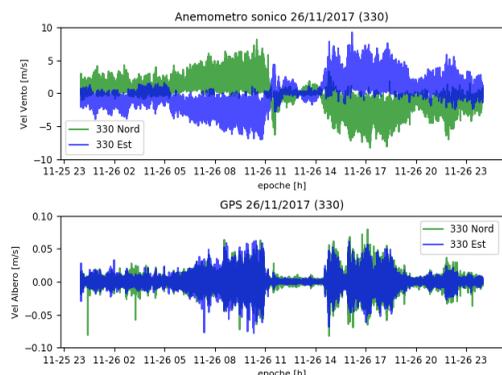


Fig. 2: Velocità vento e albero il 26 Novembre 2017

Fig. 2: Velocities wind and tree 26th November 2017

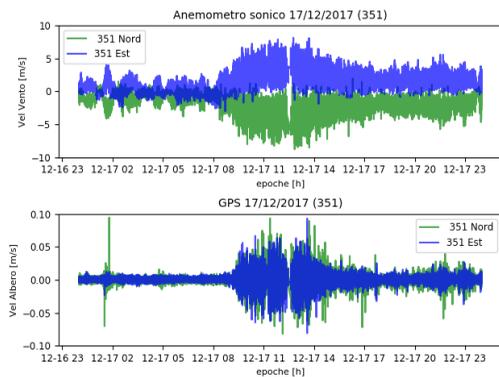


Fig. 3: Velocità vento e albero il 17 Dicembre 2017  
 Fig. 3: Velocities wind and tree 17th December 2017

Le figure 2 e 3 mostrano, dunque, che il sensore GNSS è effettivamente in grado di registrare l'aumento di velocità dell'albero all'aumentare della velocità del vento. È molto importante notare l'effetto di scala tra le due differenti registrazioni (vento-anemometro e albero-GPS) dovuto al fatto che l'albero è un corpo rigido con comportamento non ideale. Inoltre, mentre nel sonico le componenti direzionali risultano distinte, i dati provenienti dal sensore GNSS evidenziano un movimento oscillante dell'albero [Gardiner et al., 2016; De Langre, 2008].

I due fenomeni ventosi avvenuti durante la giornata del 26 novembre possono essere isolati, in modo da confrontare i dati osservati nella fascia pomeridiana con la giornata del 17 dicembre, in cui il vento è stato caratterizzato dalla stessa direzione.

Per analizzare la correlazione tra le due velocità (velocità del vento registrata dall'anemometro sonico e quella dell'albero registrata dal GNSS) sono stati considerati i moduli mediati ogni 60 secondi.

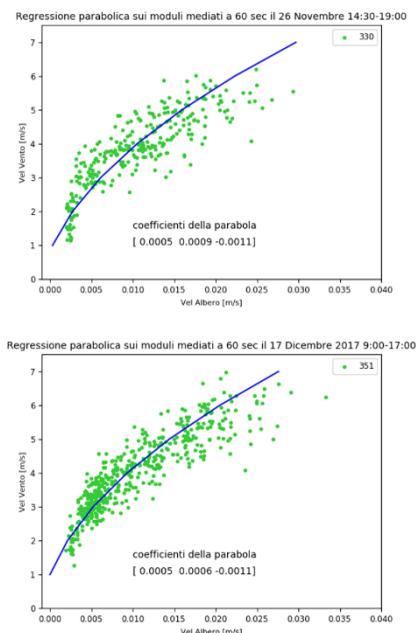


Fig. 4: Correlazione velocità nei giorni in esame  
 Fig. 4: Correlation of velocities on the days studied

Come è possibile notare in Fig.4 la correlazione tra le due grandezze è di tipo parabolico.

Si può inoltre osservare, attraverso i coefficienti della parabola, come l'albero abbia un comportamento univoco a sollecitazioni simili.

Questa univocità è osservabile graficamente nella Fig. 5 raffigurante le planimetrie delle velocità e delle posizioni per entrambi i giorni in esame. Le posizioni assunte dall'albero, registrate attraverso il sensore GNSS, sono coerenti con la direzione in cui soffia il vento ed i pattern dell'albero risultano essere affini a quelli osservati attraverso altre tecnologie [Hassinen et al 1998; Mayer, 1985, 1987, 1989; Amtmann, 1986].

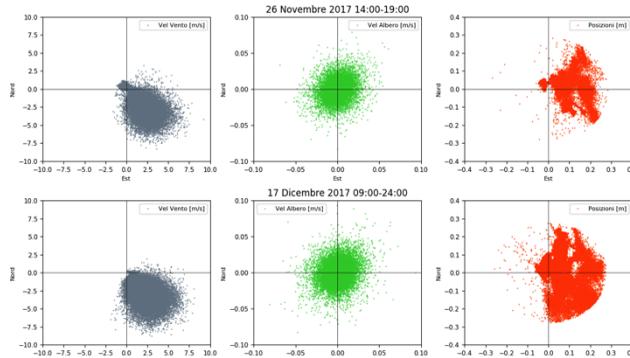


Fig. 5: Planimetria di tutte le grandezze  
 Fig. 5: Planimetry of all quantities

Un ultimo confronto è stato operato tra l'energia cinetica turbolenta (TKE) e la velocità di oscillazione dell'albero.

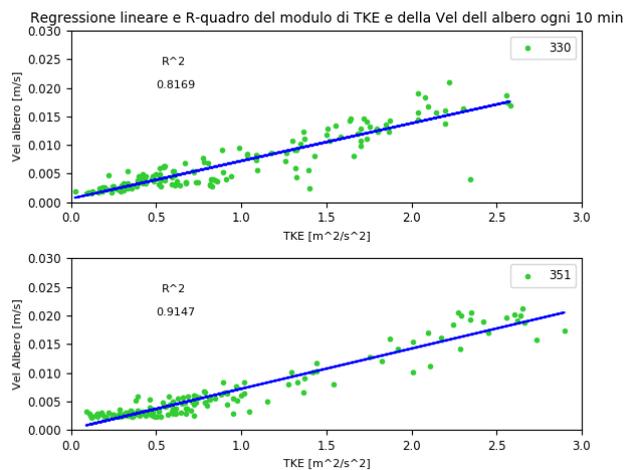


Fig. 6: Confronto TKE-velocità dell'albero  
 Fig. 6: TKE-tree speed comparison

La relazione tra queste due grandezze, coerentemente a tutti i risultati ottenuti fino ad ora, è lineare e ha un coefficiente di correlazione prossimo all'unità.

Infine, è stata svolta un'analisi in frequenza. Attraverso la Trasformata di Fourier, applicata a entrambe le componenti direzionali di velocità di oscillazione dell'albero per

entrambi i giorni in esame, è stato ottenuto lo spettro di frequenza (Fig. 7).

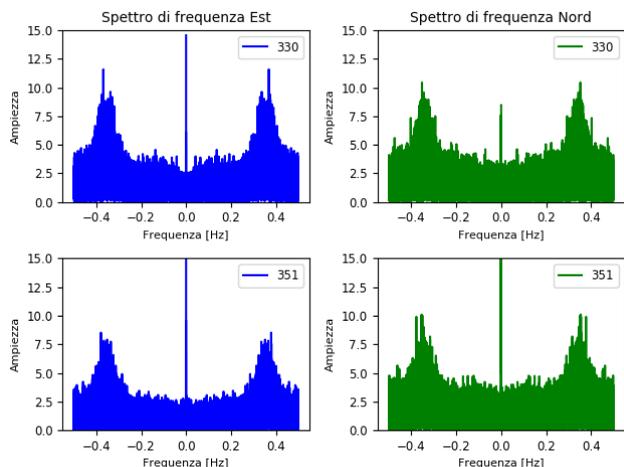


Fig. 7: Spettro di frequenza di entrambe le giornate  
Fig. 7: Frequency spectrum of both days

I picchi di frequenza, in tutti e 4 i casi, si collocano tra 0.3 e 0.4 Hz. Attraverso uno studio più approfondito si è ricavata la frequenza con picco massimo intorno a 0.34 Hz (Tab.4). Si è supposto che proprio questa possa essere la frequenza caratteristica di oscillazione dell'albero.

Tab 4: Picchi di frequenza  
Tab 4: Frequency peaks

Doy	Est [Hz]	Nord [Hz]
330	0.33	0.35
351	0.36	0.34

## Conclusioni

Negli ultimi anni si stanno verificando fenomeni ventosi molto intensi e sempre più frequenti che compromettono la stabilità delle specie arboree. Questo comporta un grave rischio sia fisico che economico in ambiente urbano e non. Lo studio della relazione tra spinta del vento e risposta dell'albero è molto importante al fine di poter prevenire l'eventuale caduta e poter dare un allarme preventivo. Per poter studiare queste relazioni è stato installato un sensore GNSS a singola frequenza sul tronco di un Pino cembro italiano, situato nell'area di ricerca di Monte Libretti CNR RM1, ottenendo risultati molto promettenti. Si è riscontrato, in giorni non ventosi, che l'accuratezza del sensore nel rilevare le velocità e le posizioni assunte dall'albero è rispettivamente di qualche mm/s e intorno a qualche cm; evidenziando robustezza della soluzione nella ripetibilità delle mediane delle coordinate geocentriche. Nei giorni ventosi invece si può osservare come effettivamente il sensore riesca a cogliere l'aumento della velocità di oscillazione dell'albero conseguente all'incremento della velocità del vento. E' stata altresì ricavata una correlazione parabolica tra i moduli delle velocità dell'albero e del vento, mediati ogni 60 sec e notata una risposta univoca ad

eventi di vento simile (stessa direzione). Le posizioni ottenute attraverso il ricevitore GNSS sono risultate essere coerenti con la direzione del vento. La bontà della misurazione è stata confermata ulteriormente con lo studio della relazione tra velocità dell'albero e TKE, che è risultata essere lineare.

Infine, attraverso la trasformata di Fourier sulle velocità dell'albero sono stati ottenuti gli spettri di frequenza, e si evince una frequenza caratteristica dell'albero intorno a 0.34 Hz. Nel futuro si cercherà di automatizzare il sistema e di testarlo su differenti specie (sia monocormiche che policormiche). Il fine ultimo sarà quello di ottenere delle mappature di rischio degli alberi e creare un sistema sensoristico di early warning.

## Bibliografia

- Amtmann R., 1986. Dynamische Windbelastung von Nadelbäumen. Forstliche Forschungsberichte München. No. 74, 218 pp.
- Colosimo G., Crespi M., Mazzoni A., 2011. Real-time GPS seismology with a stand-alone receiver: A preliminary feasibility demonstration. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 116.B11.
- Amtmann R., 1986. Dynamische Windbelastung von Nadelbäumen. Forstliche Forschungsberichte München. No. 74, 218 pp
- De Langre E., 2008. Effects of wind on plants. Annu. Rev. Fluid Mech., 40: 141-168.
- Hassinen A., Lemettinen M., Peltola H., Kellomaki D., Gardiner B.A., 1998. A prism-based system for monitoring the swaying of trees under wind loading. Agric. For. Meteorol. 90: 187-194.
- Lee, X., Massman, W., Law, B. 2004. Handbook of Micrometeorology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 250 p.
- Mayer H., 1985. Baumschwingungen und Sturmgefährdung des Waldes. Wissenschaftliche Mitteilung. Universität München. Meteorologisches Institut. No. 51, 247 pp.
- Mayer H., 1987. Wind-induced tree sways. Trees 1: 195-206.
- Mayer H., 1989. Windthrow. Phil. Trans. R. Soc. London, Ser. B 324: 267-281.
- Takasu T., Yasuda A., 2009. Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. In: International symposium on GPS/GNSS. International Convention Center Jeju Korea, 2009. p. 4-6.
- Gardiner B., Berry P., Moulia B., 2016. Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. Plant Science, 245: 94-118.

# FULMINI E AGRICOLTURA IN TEMPI DI CAMBIAMENTO CLIMATICO

## LIGHTNING AND AGRICULTURE IN A CLIMATE CHANGE CONTEXT

Stefano Dietrich<sup>1,\*</sup>, Virginia Coletta<sup>1</sup>, Leo Pio D'Adderio<sup>1</sup>, Stefano Federico<sup>1</sup>, Luigi Pazienza<sup>1</sup>, Rosa Claudia Torcasio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ISAC-CNR, via del Fosso del Cavaliere 100, 00133, Roma (RM)  
[\\*s.dietrich@isac.cnr.it](mailto:*s.dietrich@isac.cnr.it)

### Abstract

Lightning meteorology investigates the dynamic and microphysical evolution of convective meteorological systems through the monitoring of lightning. The timely information provided by the distribution of electrical discharges in the atmosphere is closely related to atmospheric convection, which is often followed by the arrival of hailstorms. However, the distribution of electrical discharges in the atmosphere also provides information on the production of nitrogen compounds, natural soil fertilizers. Lightnings are already included in warning systems of a different nature and will be increasingly assimilated into Numerical Weather Prediction models, along with other observations to explain, monitor, and possibly mitigate the effects of extreme events and climatic variations. A general overview and some specific ideas will be presented to discuss the evolution of some possible applications to agriculture.

### Parole chiave

Fulmini, RAMS@ISAC, Modelli, Agricoltura

### Keywords

Lightning, RAMS@ISAC, Models Agriculture,

### Introduzione

I fulmini avvengono quando in una nube il campo elettrico diventa sufficientemente intenso da vincere la resistività dell'aria. La principale causa dell'elettrificazione di una nube deriva dalla presenza, dal movimento e dallo scontro al suo interno di particelle di ghiaccio e graupel. Da tali scontri si generano idrometeorie cariche di segno differente che si separano principalmente per effetto gravitazionale. Fondamentale è quindi il ruolo della convezione atmosferica, che genera gli impetuosi movimenti verticali capaci di proiettare verso l'alto, e quindi verso temperature più fredde, goccioline di acqua che si solidificano e accrescono durante l'evoluzione della formazione della nube convettiva (Roberto et al., 2016).

Uno dei maggiori rischi per le coltivazioni agricole dipende proprio dalla presenza, consistenza, e dimensioni che possono assumere le particelle di ghiaccio. Infatti, gli effetti distruttivi della grandine (diametro > 5 mm) sulle colture sono stati fin da principio motivo di interesse verso lo studio, il monitoraggio, la previsione, e eventualmente il tentativo di soppressione delle grandinate.

I fulmini e la grandine sono pertanto strettamente connessi: il monitoraggio dei fulmini può quindi fornire attendibili indicazioni sull'evoluzione dinamica e microfisica dei sistemi convettivi (Formenton et al., 2013; Solomon et al., 2003) divenendo pertanto un utile e semplice strumento per evidenziare l'arrivo di tale pericolo.

I fulmini sono d'interesse in diversi ambiti scientifici: la loro occorrenza dipende dall'inquinamento atmosferico (Orville et al., 2001; Naccarato et al., 2003), dalla temperatura dei mari (Stephen et al., 2000; Bond et al., 2002), mentre possono essere usati in sistemi di monitoraggio delle precipitazioni (Dietrich et al., 2011)

all'interno di sistemi di previsione delle alluvioni (Price et al., 2011).

Ancora nel campo dell'agronomia i fulmini hanno una rilevante importanza essendo tra i maggiori responsabili della produzione di NO<sub>x</sub> (ossido di azoto), fondamentale nella fertilizzazione dei terreni. Il rumore dei tuoni sembra inoltre influenzare il tempo di crescita delle specie fungine (Ibrahim et al., 2017), mentre essi possono essere anche causa di grossi incendi boschivi e di incidenti anche mortali, in particolare di contadini, soprattutto nei paesi in via di sviluppo.

Le scariche elettriche possono avvenire tra nube e suolo (cloud to ground, CG), oppure all'interno o tra nubi (inter, intra cloud, IC).

Le differenti componenti spettrali delle scariche elettromagnetiche associate con l'occorrenza dei fulmini sono utilizzate da differenti tipi di reti di sensori al suolo, che stimano la posizione, la corrente di picco, e l'esatto istante della singola scarica. In particolare, la rete LINET, i cui dati sono usati nell'articolo, ha caratteristiche che la fanno preferire alle altre: riesce a osservare sia i fulmini CG (praticamente nella loro totalità) che la maggior parte degli IC, poiché sfrutta sia le tecniche in VLF (very low frequency), sia un algoritmo pseudo 3-D (Betz et al., 2004; Betz et al., 2007) che le dà la possibilità di differenziare gli eventi IC dai CG con un'elevata sensibilità, riuscendo a valutare l'altezza della scarica degli IC. Inoltre ha un'ottima accuratezza nel rilevarne la posizione.

Negli ultimi anni, a seguito del successo delle osservazioni ottiche del Lightning Imaging Sensor (LIS) a bordo della Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), anche i satelliti geostazionari si stanno attrezzando per monitorare

con continuità i fulmini dallo spazio. Ha già iniziato il Geostationary Lightning Mapper (GLM) sul GOES-R, mentre ancora qualche anno (2021) si deve attendere per il Lightning Imager (LI) sul Meteosat Third Generation (MTG). Ciò permetterà, anche sull'Italia, di migliorare lo studio e il riconoscimento degli IC (ancora difficili da rilevare con osservazioni dal suolo). Questo è il motivo per cui i fulmini cominciano a essere inclusi in sistemi di allarme di differente natura e saranno sempre più assimilati in modelli di previsione meteorologica. Questo tipo di utilizzo sarà meglio spiegato nel seguito.

## Materiali e Metodi

I fulmini possono essere utilizzati per migliorare le previsioni a breve termine dei modelli meteorologici. Negli anni sono state sviluppate diverse tecniche di assimilazione di dati di attività elettrica per questo scopo. Le prime tecniche convertivano il tasso di fulmini registrati su una data area in intensità di precipitazione ed assimilavano nei modelli il calore latente che poteva essere calcolato dall'intensità di precipitazione (Alexander et al., 1999; Chang et al., 2001). Successivamente l'assimilazione dei fulmini è stata svolta perturbando lo schema convettivo dei modelli meteorologici, ovvero forzando l'attivazione di questo schema laddove sono osservati fulmini (Giannaros et al., 2016). Questi schemi sono correntemente utilizzati a risoluzioni orizzontali medie dei modelli meteorologici (5-20 km).

Recentemente, soprattutto grazie alle elevate risoluzioni spaziali orizzontali (< 5 km) dei modelli meteorologici, si utilizzano i dati di attività elettrica per modificare il contenuto delle idrometeorite o del vapore acqueo. Il fine è quello di aumentare l'instabilità dell'atmosfera laddove sono osservati dei fulmini ed il modello non prevede lo sviluppo di convezione, quantificata dalla presenza o meno di graupel nella colonna verticale del modello in corrispondenza dei punti in cui sono osservati i fulmini (Fierro et al., 2012).

In questa direzione, presso l'ISAC-CNR di Roma, è stato sviluppato un algoritmo per l'assimilazione dei dati di attività elettrica nel modello RAMS@ISAC. Quest'ultimo rappresenta un'evoluzione del modello meteorologico RAMS (Regional Atmospheric Modeling System; Cotton et al., 2003) con tre principali novità: la possibilità di utilizzare nuovi schemi di microfisica a singolo momento (in questo lavoro è utilizzato lo schema WSM6; Hong e Lim, 2006) oltre a quello del modello nella sua versione originale; la possibilità di prevedere l'attività elettrica; la possibilità di assimilare alcune tipologie di dati a scala locale per il miglioramento della previsione. I dati che possono essere assimilati nel modello sono di vario tipo: fulmini, riflettività radar, ritardo dei ricevitori GPS valutato allo zenit, tasso di precipitazione da satellite.

Il problema specifico dell'assimilazione dei dati di fulminazione nel modello RAMS@ISAC (4 km di risoluzione spaziale orizzontale su tutta Italia) è affrontato perturbando il contenuto di vapore acqueo simulato tra le

isoterme di 0°C e -25°C poiché i meccanismi di separazione delle cariche responsabili della generazione di scariche elettriche agiscono principalmente in questo strato di atmosfera. La perturbazione al campo di umidità dipende da due fattori: a) il numero di fulmini che occorrono in una box di griglia centrato in ogni punto di griglia del modello; b) il valore del graupel simulato in un punto di griglia. La Figura 1 mostra l'andamento del vapore acqueo assimilato nel modello in funzione del tasso di fulminazione osservato e del contenuto di graupel simulato dal modello.

La formulazione analitica delle curve di Figura 1 può essere trovata in (Fierro et al., 2012 e Federico et al., 2017).

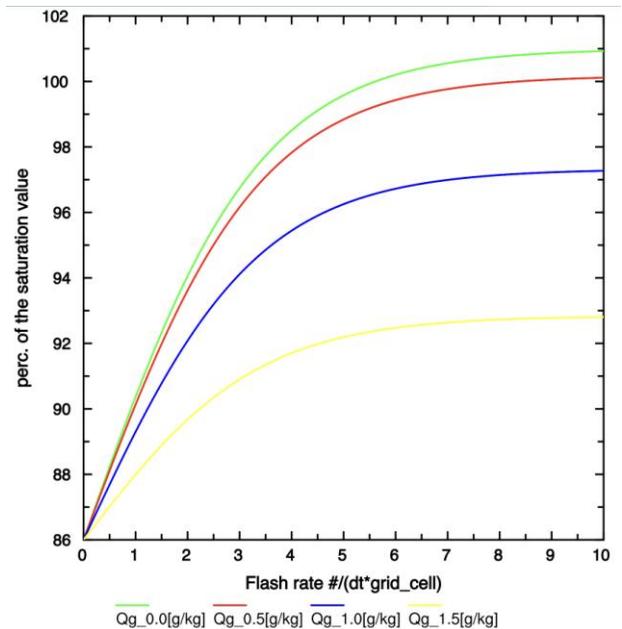


Fig.1 – Andamento del vapore acqueo, espresso in percentuale del valore alla saturazione, in funzione del tasso di fulminazione osservato, riportato sull'asse x, e del rapporto di mescolamento di graupel simulato dal modello.

Fig.1- Behaviour of the water vapour assimilated in RAMS@ISAC as a function of the flash-rate observed and of the modelled graupel mixing ratio.

Come si può notare dalla Figura 1, il vapore acqueo assimilato nel modello cresce con il numero di fulmini osservati in un box di griglia centrato attorno al punto di griglia considerato per l'assimilazione, e decresce con il quantitativo di graupel simulato dal modello.

## Risultati e Discussione

Lo schema di assimilazione di dati di attività elettrica è stato applicato a 20 casi studio occorsi nel periodo 6 Settembre-5 Novembre 2012 (HyMeX-SOP1, Hydrological Cycle in Mediterranean Experiment -Special Observing Period 1, Ferretti et al., 2014). Il periodo è stato caratterizzato da un certo numero di eventi convettivi, anche di notevole intensità, occorsi in Italia.

La Figura 2 mostra il diagramma di Taylor ottenuto per i 20 casi studio per tre diverse configurazioni del modello

RAMS@ISAC: N è il modello di riferimento senza assimilazione alcuna di dati; F rappresenta la previsione del modello con assimilazione di dati di attività elettrica; A è una simulazione in cui i fulmini sono assimilati continuamente e non può essere utilizzata per svolgere le previsioni proprio perché ha bisogno di dati di attività elettrica di continuo.

Il diagramma di Taylor è stato calcolato considerando le precipitazioni osservate su tutta la rete di pluviometri nazionale, che consta di più di 2500 pluviometri. Di conseguenza la statistica presentata è robusta.

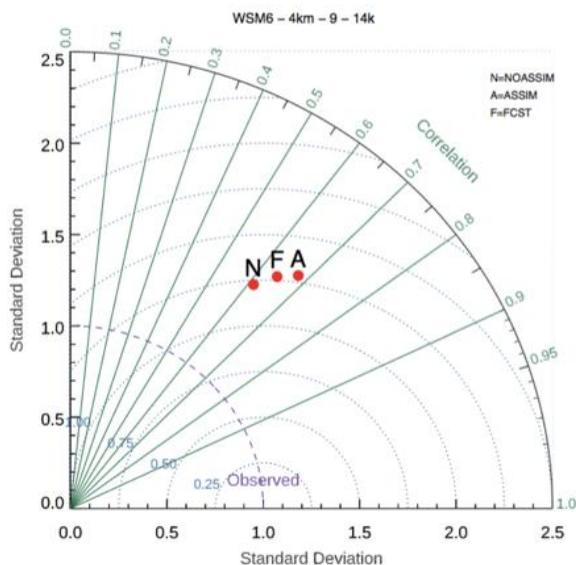


Fig.2 – Diagramma di Taylor ottenuto per i 20 casi studio di HyMeX-SOPI.

Fig.2- Taylor diagram for the 20 case studies of HyMeX-SOPI.

Dal diagramma di Taylor emerge un aumento della correlazione per le simulazioni che assimilano i fulmini, sia in fase predittiva (F), che in fase di analisi (A). Questo aumento di correlazione corrisponde a una migliore previsione del campo di precipitazione. Il POD (Probability of Detection) della simulazione con assimilazione di fulmini, infatti, ha un miglioramento del 5-10% a seconda della soglia di precipitazione per le simulazioni in configurazione di previsione (F), e del 7-15% per le simulazioni con assimilazione continua dei fulmini (A). Sempre dal diagramma di Taylor è possibile notare una leggera crescita dell'errore nelle simulazioni con assimilazione di fulmini. Questa crescita dell'errore è dovuta ad un aumento dei falsi allarmi delle simulazioni che assimilano dati di attività elettrica.

Un esempio evidente dell'impatto dell'assimilazione dei dati di attività elettrica è quello mostrato nelle Figure 3 e 4 per un caso studio di precipitazione intensa occorso nel pomeriggio del 5 Novembre 2017 a Roma. La Figura 3 mostra il numero di scariche osservate dalla rete di rilevamento da terra LINET (Betz et al., 2009) tra le 11 e le 12 UTC del 5 Novembre. In quest'ora sono state osservate

più di 260.000 scariche, principalmente sul Lazio e sul Mar Tirreno di fronte a Roma e sulla Toscana.

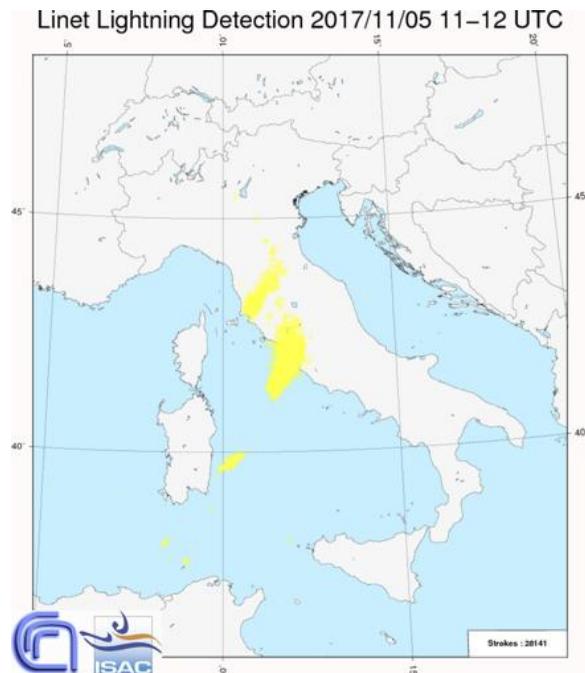


Fig.3 – Numero di scariche registrate dalla rete LINET tra le 11 e le 12 UTC del 5 Novembre 2017.

Fig.3- Number of strokes recorded by LINET between 11 and 12 UTC on 5 November 2017.

L'assimilazione dei fulmini nel modello RAMS@ISAC è in grado di forzare la nascita di una cella convettiva sul Mar Tirreno di fronte a Roma che si propaga nell'ora successiva sulla città. Questa situazione è ben rappresentata in Figura 4, che mostra la pioggia prevista tra le 12 e le 13 UTC del 5 Novembre 2017. Si può notare come siano previsti fino a 40 mm in un'ora sulla città, ovvero un temporale di notevole intensità. E' importante sottolineare come questo temporale non sarebbe stato previsto dal modello senza l'assimilazione di fulmini. Inoltre, la reale occorrenza del temporale su Roma (oltre 100 mm in 4 h) è stata verificata dalle osservazioni della rete nazionale dei pluviometri.

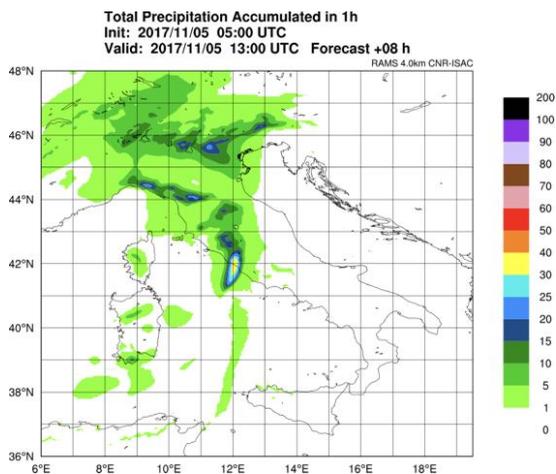


Fig.4 – Precipitazione prevista tra le 12 e le 13 UTC del 5 Novembre 2017.

Fig.4- Number of strokes recorded by LINET between 11 and 12 UTC on 5 November 2017.

### Conclusioni

Il miglioramento delle capacità osservative delle reti di fulminazione al suolo e l'avvento dei nuovi sensori ottici satellitari rende disponibili un maggior numero di dati di alta qualità utilizzabili in molti contesti scientifici. Questo è oltremodo utile dal momento che il numero e l'intensità di violenti fenomeni convettivi è in chiaro aumento a causa dei cambiamenti climatici. Ad esempio, proprio nella zona del golfo di Napoli il 5 Settembre 2015 furono registrati 38,556 fulmini dalla rete LINET (Figura 5). Tale evento generò la caduta di sfere ghiacciate che raggiungevano il diametro di 7-10 cm (Marra et al., 2017).

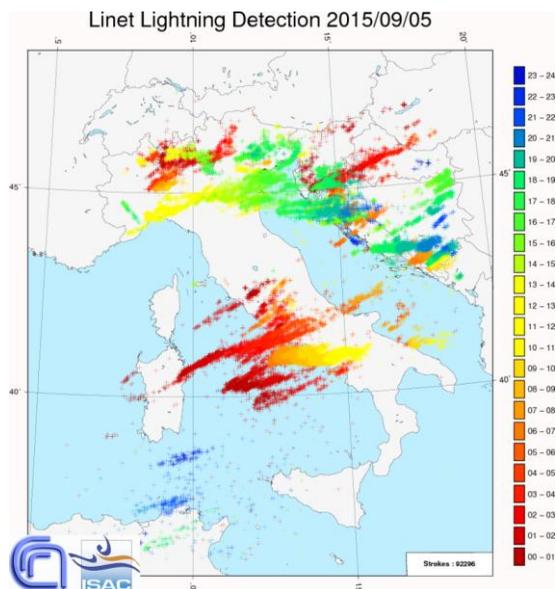


Fig.5 – Numero di scariche registrate dalla rete LINET il 5 Settembre 2015.

Fig.5- Number of strokes recorded by LINET on 5 September 2015.

Interessante è quindi la possibilità di usare i dati LINET nell'analisi di eventi meteorologici, ma anche all'interno di studi di varia natura. La disponibilità ormai di 7 anni di dati LINET ad alta qualità (15 sensori) sul territorio nazionale permette anche di organizzare studi climatologici. In particolare, l'assimilazione dei fulmini nei modelli numerici di previsione meteorologica rappresenta un notevole sviluppo nella previsione del campo di precipitazione a breve termine, come mostrato negli esempi precedenti. Ricerche future si occuperanno della possibilità di diminuire il numero di falsi allarmi, considerando l'attività convettiva simulata dal modello ad un certo istante di tempo e confrontando questo dato con le osservazioni di scariche elettriche. Tutto ciò aggiungerà preziose informazioni e previsioni a supporto delle applicazioni agricole.

### Bibliografia

- Alexander G. D., Weinman J. A., Karyampoudi V. M., Olson W. S., and Lee A. C. L., 1999. The effect of assimilating rain rates derived from satellites and lightning on forecasts of the 1993 superstorm, Mon. Weather Rev., 127: 1433–1457.
- Betz H. D., Schmidt K., Oettinger P., Wirz M., 2004. Lightning detection with 3D- discrimination of intracloud and cloud-to-ground discharges. J.Geophys. Res. Lett. 31, L11108.
- Betz H. D., Schmidt K., Fuchs B., Oettinger W.P., Höller H., 2007. Cloud lightning: detection and utilization for total lightning measured in the VLF/LF regime. J. Light. Rese. 2:1–17.
- Betz H. D., Schmidt K., Laroche P., Blanchet P., Oettinger P., Defer E., Dziewit Z., and Konarski J., 2009. LINET-an international lightning detection network in Europe, Atmos. Res., 91: 564– 573.
- Bond D.W., Steiger S., Zhang R., Tie X., Orville R.E., 2002. The importance of NOx production by lightning in the tropics. Atmospheric Environment 36: 1509–1519.
- Chang D. E., Weinman J. A., Morales C. A., and Olson W. S., 2001. The effect of spaceborn microwave and ground-based continuous lightning measurements on forecasts of the 1998 Groundhog Day storm, Mon. Weather Rev., 129: 1809–1833.
- Cotton W. R., Pielke S. R. A., Walko R. L., Liston G. E., Tremback C. J., Jiang H., McAnelly R. L., Harrington J. Y., Nicholls M. E., Carrio C. G., and McFadden J. P., 2003. RAMS 2001: Current status and future directions, Meteorol. Atmos. Phys., 82: 5–29.
- Dietrich S., Casella D., Di Paola F., Formenton M., Mugnai A., and Sanò P., 2011. Lightning-based propagation of

- convective rain fields, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11:1571-1581.
- Federico S., Petracca M., Panegrossi G., and Dietrich S., 2017. Improvement of RAMS precipitation forecast at the short-range through lightning data assimilation, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17: 61–76.
- Ferretti R., Pichelli E., Gentile S., Maiello I., Cimini D., Davolio S., Miglietta M. M., Panegrossi G., Baldini L., Pasi F., Marzano F. S., Zinzi A., Mariani S., Casaioli M., Bartolini G., Loglisci N., Montani A., Marsigli C., Manzato A., Pucillo A., Ferrario M. E., Colaiuda V., and Rotunno R., 2014. Overview of the first HyMeX Special Observation Period over Italy: observations and model results, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18: 1953–1977.
- Fierro A. O., Mansell E., Ziegler C., and MacGorman D., 2012. Application of a lightning data assimilation technique in the WRFARW model at cloud-resolving scales for the tornado outbreak of 24 May 2011, *Mon. Weather Rev.*, 140: 2609–2627.
- Formenton M., Panegrossi G., Casella D., Dietrich S., Mugnai A., San, P., Paola F.D., Betz H.D., Price C. and Yair Y., 2013. Using a cloud electrification model to study relationships between lightning activity and cloud microphysical structure. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(4):1085-1104.
- Giannaros T. M., Kotroni V., and Lagouvardos K., 2016. WRFLTNGDA: A lightning data assimilation technique implemented in the WRF model for improving precipitation forecasts, *Environ. Model. Softw.*, 76: 54–68.
- Hong S. Y. and Lim J. J. O., 2006. The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6), *J. Korean Meteorol. Soc.*, 42: 129–151.
- Ibrahim R., Jamil A. A. I. M., Hasan S. M. Z., Arshad A.M. and Zakaria Z., 2017. Enhancing Growth and Yield of Grey Oyster Mushroom (*Pleurotus sajorcaju*) Using Different Acoustic Sound Treatments. In *MATEC Web of Conferences*, 97: 01054.
- Marra A. C., Porcù F., Baldini L., Petracca M., Casella D., Dietrich S., Mugnai A., Sanò P., Vulpiani G. and Panegrossi G., 2017. Observational analysis of an exceptionally intense hailstorm over the Mediterranean area: Role of the GPM Core Observatory. *Atmospheric research*, 192:72-90.
- Naccarato K. P., Pinto O. and Pinto I. R. C. A., 2003. Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil. *Geophysical Research Letters* 30.
- Orville R. E., Huffines G., Gammon J. N., Zhang R., Ely B., Steiger S., Phillips S., Allen S., and Read W, 2001. Enhancement of cloud-to-ground lightning over Houston, Texas, *Geophys. Res. Lett.*, 28(13): 2597–2600.
- Price C., Yair Y., Mugnai A., Lagouvardos K., Llasat M.C., Michaelides S., Dayan U., Dietrich S., Di Paola F., Galanti E. and Garrote L., 2011. Using lightning data to better understand and predict flash floods in the Mediterranean. *Surveys in geophysics*, 32(6):733.
- Roberto N., Adirosi E., Baldini L., Casella D., Dietrich S., Gatlin P., Panegrossi G., Petracca M., Sanò P. and Tokay A., 2016. Multi-sensor analysis of convective activity in central Italy during the HyMeX SOP 1.1. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(2):535-552.
- Solomon R., Medaglia C. M., Adamo C., Dietrich S. and Mugnai A., 2003. Relating cloud microphysical properties and lightning: Model analysis of an extreme hailstorm. In *Proceedings of the 5th EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms*, Ajaccio, Corsica, France (pp. 1-3).
- Stephen W., Nesbitt W., Zhang R., Orville R., 2000. Seasonal and global NO<sub>x</sub> production by lightning estimated from the Optical Transient Detector (OTD). *Tellus 52B*: 1206–1215.

# COMPARISON AND VALIDATION OF DAILY METEOROLOGICAL DATA FROM ERA5 REANALYSIS WITH OBSERVATIONAL SURFACE DATA, FOR THE EMILIA-ROMAGNA REGION

## CONFRONTO E VALIDAZIONE DI DATI METEOROLOGICI GIORNALIERI DELLA RIANALISI ERA5 CON DATI OSSERVATIVI SUPERFICIALI, PER LA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Ghaieth Ben Hamouda<sup>(1\*)</sup>, Valentina Pavan<sup>(2)</sup>, Gabriele Antolini<sup>(2)</sup>, Lucio Botarelli<sup>(2)</sup>, Francesca Ventura<sup>(1)</sup>

(1) Department of Agricultural and Food Sciences, University of Bologna, viale G. Fanin 44, 40127 BOLOGNA, ITALY;

(2) Arpae-Simc, Regione Emilia-Romagna, viale Silvani 8, 40100 Bologna

\* [ghaieth.benhamouda@unibo.it](mailto:ghaieth.benhamouda@unibo.it)

### Abstract

The European Center for Weather Forecasts ECMWF operates within the European Copernicus project for the dissemination of meteorological, environmental and satellite data. In the present work are compared the hourly data of the ERA5 reanalysis, recently produced by ECMWF and made available through the Copernicus Climate Service, with surface observational meteorological data from ARPAE and DISTAL databases. The comparison was made for the 2008-2018 period, using data from the stations of Cadriano (DISTAL), Martorano, San Pancrazio, San Pietro Capofiume and Rimini Urbana (ARPAE). The hourly data, extracted from ERA5 database, refer to: 2m air temperature, 10m horizontal and vertical wind components, 2m dew point temperature, surface net solar radiation and global solar radiation. From these data the 2m daily wind speed, relative humidity, 2m daily minimum and maximum temperature were deduced. The data extracted from ARPAE database are: 2m minimum and maximum daily temperature, 2m minimum and maximum daily relative humidity, daily net radiation, hourly global radiation and daily mean wind speed at 10m. From these data, daily global radiation and 2m wind speed at 2m were calculated.

Grid values are compared with local observation using the nearest grid point method.

The final aim of this work is the elaboration of climate indices for the Emilia-Romagna region for agro-meteorological purposes, starting from the ERA5 data.

### Parole chiave

Radiazione netta, Radiazione globale, Velocità del vento, Temperature dell'aria, Umidità relativa

### Keywords

Net radiation, Global radiation, Wind speed, Air temperature, Relative humidity

### Introduction

The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) is both a research institute and a 24/7 operational service, producing global numerical weather predictions and other data for member and co-operating states and for the broader community. Currently it also operates two services on behalf of the EU's Copernicus Earth observation programme: the Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) and the Copernicus Climate Change Service (C3S).

One of the products made available within the CAMS Service is ERA5, a climate reanalysis dataset, covering the period 1979 to present. ERA5 provides hourly estimates of a large number of atmospheric, land and oceanic variables. The data cover the Earth on a 35km grid and resolve the atmosphere using 137 levels from the surface up to a height of 80km. ERA5 includes information about uncertainties for all variables at reduced spatial and temporal resolutions. Quality-assured monthly updates of ERA5 are now published within 3 months of real time. These data are

widely used in agrometeorological models, especially where surface measurements are not available. In order to evaluate the impact of using reanalysis data as input in evapotranspiration estimates, a comparison of these data with surface measurements was performed, using measures of several agrometeorological variables, gathered at stations located in the Emilia-Romagna region. The stations were chosen to be representative of the climate of the plain areas.

### Materials and Methods

#### Study region

The Emilia-Romagna region (Figure 1) is located in Northern Italy between 43° 80' and 45° 10' N, and 9° 20' and 12° 75' E. Agriculture is an important sector in the region: within the total area of 22 452 km<sup>2</sup>, 10642 km<sup>2</sup> are devoted to agriculture (Emilia-Romagna region, 2010). Based on the Köppen-Geiger climate classification, the north-east half of Emilia-Romagna has a temperate climate, fully humid with hot summers (Cfa), while the southwest half has an entirely humid climate with warm summers (Cfb) (Kottek et al., 2006). Climate in the region is mainly

influenced by a variable geomorphology, represented by the Po River in the North, the Adriatic Sea in the East and the Apennines Mountains to the South and South-West.



Fig.1- Position of the agrometeorological stations chosen in Emilia-Romagna.

Fig.1- Posizione delle stazioni agrometeorologiche considerate in Emilia-Romagna.

### Meteorological data

Data for the period (2008-2018) were collected from five agrometeorological stations (Table 1) spread all over the plain within Emilia-Romagna (Figure 1). Data for Martorano, Rimini Urbana, San Pancrazio and San Pietro Capofiume were made available by the “Regional Agency for Prevention, Environment and Energy of Emilia-Romagna” (ARPAE). Data includes daily minimum and maximum 2m air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), daily minimum and maximum relative humidity (%), hourly mean global solar irradiance ( $\text{W m}^{-2}$ ) and daily mean 10m wind speed ( $\text{m s}^{-1}$ ). At San Pietro Capofiume, hourly surface net solar radiation data ( $\text{W m}^{-2}$ ) were also collected by a CNR1 radiometer. All these data, together with net solar radiation, were also available on an hourly basis from the agrometeorological station of the Department of Agricultural and Food Sciences of the University of Bologna (Distal), installed at the experimental farm of Cadriano (BO). The only difference is that relative humidity data for the year 2018 were only available as daily averages, and mean wind speed data were measured at 2m height.

Hourly climate reanalysis data for the same period 2008-2018 were extracted from ERA5. These data are available on a regular latitude-longitude grid of  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  resolution (COPERNICUS CDS). The data included mean 2m air temperature (K), mean 2m dew point temperature (K), mean surface net solar radiation ( $\text{J m}^{-2}$ ), mean surface solar radiation downward ( $\text{J m}^{-2}$ ), which represents mean global solar radiation, and mean 10m u and v components

of wind ( $\text{m s}^{-1}$ ). The August-Roche-Magnus (Alduchov and Eskridge, 1996) approximation was used in order to compute the minimum and maximum daily 2m relative humidity from dew point.

Tab.1- Geographical coordinates of the agrometeorological stations

Tab.1- Coordinate geografiche delle stazioni agrometeorologiche.

Stations	Latitude	Longitude
Cadriano	44°32'58"	11°24'33"
Martorano	44°09'56"	12°16'05"
Rimini Urbana	44°03'33"	12°34'25"
San Pancrazio	44°48'29"	10°16'21"
San Pietro Capofiume	44°39'14"	11°37'21"

A separate discussion applies to solar radiation: net solar radiation ( $R_n$ ) is available only at two stations (Cadriano and San Pietro Capofiume), for the whole considered period (2008-2018). Global solar radiation ( $R_s$ ) is available for all the stations, but the number of data may differ largely, due to long periods of instrument malfunctioning. It was decided to use a shorter dataset but populated with more reliable data. Table 2 shows the magnitude of the dataset used. Numbers of data may be different depending on the station/variable, due to missing data.

### Data elaboration

For the comparison of the two dataset some elaboration was needed:

- Daily data were computed from hourly (summed or averaged)
- Units were transformed when needed,
- For wind speed data it was necessary to make a more complex transformation. The reanalysis data is available as u and v components measured at 10m, both expressed in  $\text{m s}^{-1}$ . First data were converted to a 2m height, then wind speed was calculated as:

$$WS = \sqrt{u^2 + v^2} \quad \text{km h}^{-1}.$$

After this preliminary step homogeneous quantities, measured at surface, were compared with reanalysis, using 1:1 graphs (and  $R^2$ ), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE), and Mean Bias Error (MBE).

Tab. 2- Magnitude of the dataset used for each variable. Number of data may be different depending on the station/variable, due to missing data.

Tab. 2- Grandezza del set di dati disponibile per ciascuna variabile. Il numero di dati differisce in funzione della stazione/variabile a causa dei dati mancanti.

Stations	Tmin (°C)	Tmax (°C)	RHmin (%)	RHmax (%)	Rn (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	Rs (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	WS (km h <sup>-1</sup> )	Data Total (d)
Cadriano	4016	4018	4018	4017	4008	2542	4005	26624
Martorano	3994	3994	3986	3982	-	3669	4018	23643
Rimini Urbana	4014	4014	3990	3934	-	4012	4018	23982
San Pancrazio	3985	3985	3980	3979	-	3980	4018	23927
San Pietro Capofiume	4012	4012	4002	3973	4015	3956	4018	27988

Tab. 3- Statistical indices expressing results of the comparison between measured data and ERA5 reanalysis data.

Tab. 3- Indici statistici che esprimono i risultati del confronto tra i dati misurati e i dati di rianalisi di ERA5.

RMSE								
Stations	Tmin (°C)	Tmax (°C)	RHmin (%)	RHmax (%)	Rn (MJ day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	Rs (MJ day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	WS (km/h)	
Cadriano	2.23	1.51	9.90	12.29	7.07	4.87	2.48	
Martorano	2.2	1.6	10	8	-	2.31	3.23	
Rimini Urbana	1.3	1.7	13	8	-	2.56	5.26	
San Pancrazio	2.0	1.9	13	7	-	2.48	1.57	
San Pietro Capofiume	3.3	1.4	9	7	2.23	2.58	1.73	
MAE								
Stations	Tmin (°C)	Tmax (°C)	RHmin (%)	RHmax (%)	Rn (MJ day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	Rs (MJ day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	WS (km/h)	
Cadriano	1.84	1.08	7.38	9.80	6.56	3.07	1.90	
Martorano	1.8	1.2	8	6	-	1.65	2.35	
Rimini Urbana	0.9	1.3	11	6	-	1.89	4.38	
San Pancrazio	1.6	1.5	11	6	-	1.81	1.19	
San Pietro Capofiume	3.0	1.0	7	5	1.67	2.00	1.32	
MBE								
Stations	Tmin (°C)	Tmax (°C)	RHmin (%)	RHmax (%)	Rn (MJ day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	Rs (MJ day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	WS (km/h)	
Cadriano	1.66	-0.02	0.09	-6.65	6.56	2.24	0.96	
Martorano	1.58	0.09	5.58	2.29	-	0.58	2.17	
Rimini Urbana	0.21	-0.43	8.96	2.64	-	0.20	4.36	
San Pancrazio	1.20	-0.82	8.61	-0.91	-	-0.14	-0.28	
San Pietro Capofiume	2.91	0.26	1.76	-1.78	0.15	-0.36	-0.41	
R <sup>2</sup>								
Stations	Tmin (°C)	Tmax (°C)	RHmin (%)	RHmax (%)	Rn (MJ day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	Rs (MJ day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	WS (km/h)	
Cadriano	0.96	0.98	0.78	0.11	0.86	0.75	0.37	
Martorano	0.96	0.97	0.81	0.40	-	0.94	0.59	
Rimini Urbana	0.97	0.96	0.74	0.53	-	0.93	0.48	
San Pancrazio	0.95	0.97	0.82	0.55	-	0.82	0.51	
San Pietro Capofiume	0.96	0.98	0.83	0.42	0.92	0.93	0.58	

## Results and Discussion

Results from the comparison between measured data and ERA5 reanalysis data are shown in Table 3 and in figures from 2 to 6. The figures show some examples of scatterplots of measured vs ERA5 data, for a specific agrometeorological station. For each variable, scatterplots (and correlations indices shown in Table 3) for different stations are comparable and not shown for brevity, indicating that the study area is not affected by local conditions. The best results belong to temperature data, both maximum and minimum, where using measured data or data from reanalysis is almost the same, with a RMSE of about 1.9 °C as an average for all the stations. Figure 2 shows  $T_{max}$  for the Cadriano station as an example, and it is clear that, on average, the measured and the modeled temperatures are quite close.  $R^2$  is above 0,95 for all station, and MBE shows that re-analysis overestimate Tmin and slightly underestimate Tmax.

Figure 3 shows as an example data of minimum (a) and maximum (b) relative humidity for San Pancrazio. Results are not as good as for temperature, due to the high variability of these values. Problems are mainly regarding RHmax, and are related to its intrinsic nature. In both cases maximum and minimum RH data shows a RMSE of about 10% averaged over all the stations, which is largely acceptable. Figure 3b shows an underestimation of RHmax in ERA5, and underestimation of relative humidity leads to an overestimation of ETo. If used to schedule crop irrigation, this will lead to an overestimation of irrigation water restitution, whose consequences are not harmful to the plant and for crops, and so they are acceptable.

Availability of solar radiation data is not that easy, due to the difficulties to operate successfully and to reliably run radiometers. For this reason, having good reanalysis radiation data would be particularly important. Results are shown in fig. 4 and 5, for global and net radiation respectively, and are quite satisfactory.  $R^2$  are quite good for most of the stations, while MBE is below 1 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> for all stations but for Cadriano, which shows the worst performance. All ARPAAE radiometers give data close to ERA5, and probably low Cadriano results are due to low radiometer performance.

Fig 6 shows wind speed data, which is the critical point of this study. This is probably due to the fact that reanalysis gives wind speed at 10m in its vectorial components, which are then transformed in wind speed and downscaled at 2m to compare data to measurements. These transformations probably lower quality of data. We can see, looking at MBE, that ERA5 mostly overestimates and, as happens for the underestimation of RH, this will lead to an overestimation of ETo, which does not cause damage on the crop if it is used to assess irrigation scheduling. For this reason this error is acceptable.

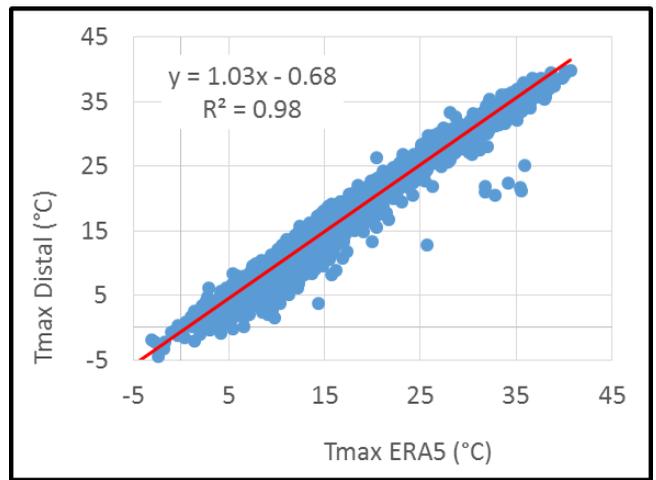


Fig.2- Comparison between maximum air temperature reanalysis and surface measurements data for Cadriano.  
Fig.2- Confronto tra dati misurati a terra e dati di rianalisi, per la Temperatura dell'aria Massima per Cadriano.

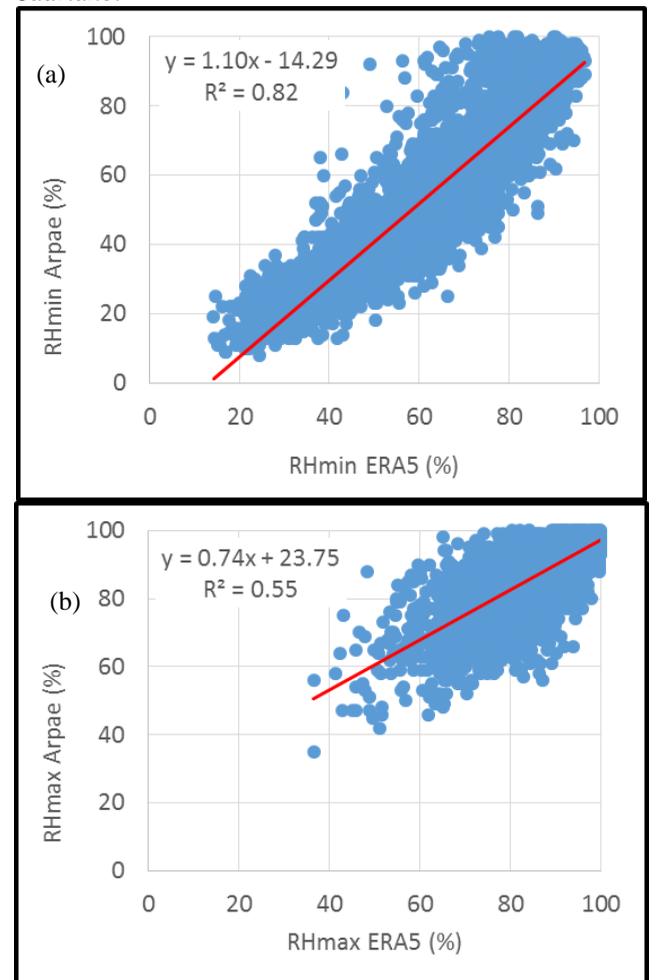


Fig.3- Comparison between minimum (a) and maximum (b) relative humidity reanalysis and surface measurements data for San Pancrazio.  
Fig.3- Confronto tra dati misurati a terra e dati di rianalisi, per la Umidità Relativa Minima (a) e Massima (b) per San Pancrazio.

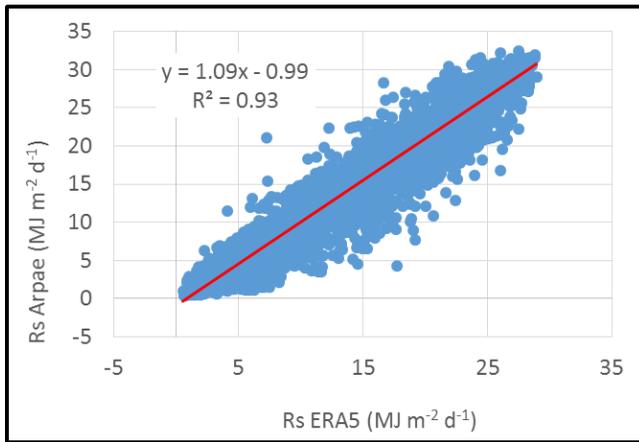


Fig.4- Comparison between global solar radiation reanalysis and surface measurements data at Rimini Urbana.

Fig. 4- Confronto tra dati misurati a terra e dati di rianalisi, per la Radiazione Solare Globale nella stazione di Rimini Urbana.

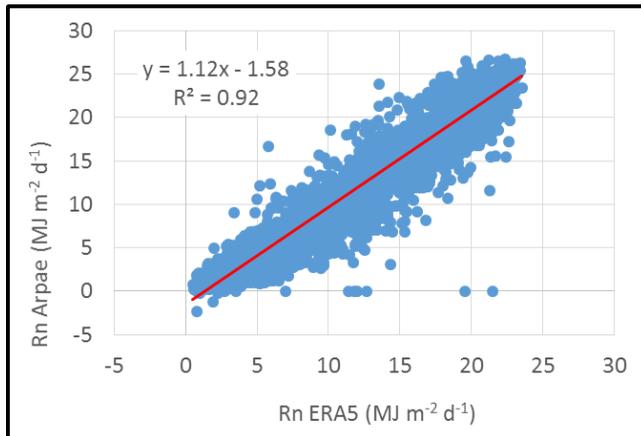


Fig.5- Comparison between net radiation reanalysis and surface measurements data at San Pietro Capofiume.

Fig.5- Confronto tra dati misurati a terra e dati di rianalisi, per la Radiazione Netta per la stazione di San Pietro Capofiume.

## Conclusions

The frequency of drought episodes, and the great variability of rainfall distribution, make it more important to have very reliable agrometeorological and climatic indices. At the same time, it is important to study the behavior of these indices in the current climate, partly different than the past due to presence in trends in some climate parameters. For both these activities, it is necessary to refer to a reliable dataset, including not only temperatures and precipitations, but also agrometeorological data not always available in the most common stations, such as solar radiation and wind speed. For this reason the ERA5 dataset, which is a climate reanalysis dataset, covering the period 1979 to present, providing hourly estimates of a large number of atmospheric variables, is made available in the framework of the Copernicus Programme.

A comparison of measured and modelled data of Air Temperature and Relative Humidity, Solar Radiation and Wind Speed was made for five agrometeorological stations in the Emilia Romagna region. All stations belong to the plain area. The results are quite satisfactory, with good results for air Temperature, suitable for RH and Solar Radiation, and acceptable performances for Wind Speed.

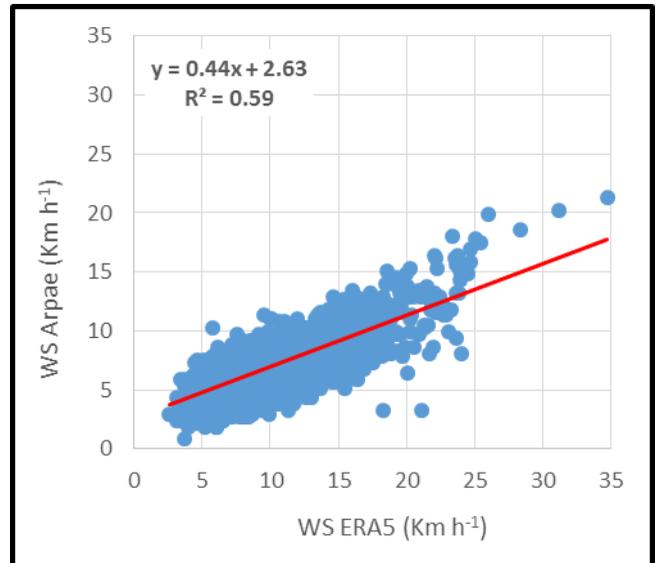


Fig.6- Comparison between wind speed reanalysis and surface measurements data for the Martorano Station.

Fig.6- Confronto tra dati misurati a terra e dati di rianalisi, per la Velocità del Vento nella stazione di Martorano.

## References

- Alduchov, O. A., and R. E. Eskridge, 1996: Improved Magnus' form approximation of saturation vapor pressure. J. Appl. Meteor., 35, 601–609. Available at: (<http://andrew.rsmas.miami.edu/bmcnoldy/Humidity.html>), last access 05/23/2019.
- Copernicus CDS (2017): Climate Data Store (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>), last access 05/23/2019.
- Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), last access 03/15/2019, <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- Emilia-Romagna Region 2010, dati ISTAT. <http://sasweb.regione.emilia-romagna.it/statistica/Tabella.do?tabella=193>, last access 05/23/2019.
- Kottke M. et al., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 15, No. 3, 259-263, DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

# VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE DELLA PRODUZIONE DI OLIO EXTRA VERGINE DI OLIVA IN VAL D'ORCIA: TRE SISTEMI DI COLTIVAZIONE A CONFRONTO

## EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF EXTRA VIRGIN OLIVE OIL PRODUCTION IN VAL D'ORCIA (ITALY): A COMPARISON BETWEEN THREE GROWING SYSTEMS

Giada Brandani<sup>1\*</sup>, Ada Baldi<sup>2</sup>, Martina Petralli<sup>2</sup>, Carolina Fabbri<sup>1</sup>, Stefano Cecchi<sup>1</sup>, Simone Orlandini<sup>2</sup>, Marco Mancini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fondazione per il Clima e la Sostenibilità. Via Giovanni Caproni 8, 50144, Firenze, Italia.

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università di Firenze. Piazzale delle Cascine 18, 50144, Firenze. Italia

\* giada.brandani@unifi.it

### Abstract

In this study, the environmental impact of extra virgin olive oil production in Val d'Orcia was assessed applying the Life Cycle Assessment - LCA - methodology from the field to the labelled bottle. The aim of the study was focused on the investigation of the opportunities of reducing the environmental load of extra virgin olive oil production process, by analyzing each phase, identifying strengths and weakness within the life cycle. The environmental impact of three different growing systems was calculated and added to the impact of olive milling and oil bottling. The considered growing systems were: organic, conventional and innovative. The latter included two agricultural practices not commonly used in the study area, as foliar fertilization and green manure. Results showed that, for all scenarios, the phases that revealed greater impacts were: production and use of fertilizers, agricultural practices and packaging production. The best environmental performance was achieved by the organic growing system, followed by the innovative which showed similar environmental load of the organic one. The conventional growing system evidenced greater environmental impacts with respect to the other two.

### Parole chiave

Analisi del ciclo di vita, impatto ambientale, settore olivicolo-oleario, olio extra vergine di oliva, olivicoltura di precisione

### Keywords

Life Cycle Assessment, environmental load, olive oil sector, extra virgin olive oil, precision olive growing

### Introduzione

In Val d'Orcia il settore olivicolo-oleario è ben radicato e ha come punti di forza l'elevato grado di differenziazione delle produzioni sia per cultivar (frantoio, moraiolo, leccino, olivastra seggianese, ecc.) (ARSIA Toscana, 2002), che per tipicità (IGP e DOP), che per metodo di coltivazione (biologico in crescita costante). Allo stesso tempo, una serie di fattori quali l'elevata eterogeneità pedologica e climatica, la presenza di aree declivi e marginali piuttosto difficili da lavorare e di oliveti condotti secondo lo schema tradizionale, con densità molto basse, oltre alla recente diffusione della mosca delle olive rischiano, se non gestiti correttamente, di portare ad una diminuzione qualitativa e quantitativa della produzione. Inoltre, dato lo scarso ricambio generazionale e la limitata adozione di innovazioni tecniche ed agronomiche, l'olivicoltura della Val d'Orcia risulta piuttosto povera da un punto di vista strutturale e tecnologico. Il concetto di qualità nel settore agroalimentare, e quindi anche nel comparto olivicolo, è oggi molto ampio, non fa più riferimento solo alle caratteristiche organolettiche ma si pone l'obiettivo di salvaguardare e tutelare la salute del consumatore finale nel rispetto dell'ambiente. Questi obiettivi possono essere raggiunti solo attraverso l'adozione di tecniche di gestione agronomica disciplinate secondo le

regole delle buone pratiche agricole. Sebbene spesso prevalga la percezione di scarsi avanzamenti nelle tecnologie per la gestione agronomica dell'oliveto, notevoli passi in avanti sono stati compiuti negli ultimi quindici anni, sia dal punto di vista delle conoscenze sia della disponibilità di attrezzature e macchinari. È però importante sviluppare e collaudare strategie gestionali adatte agli specifici contesti culturali e sociali, in grado di generare benefici economici alle aziende con investimenti contenuti. Lo studio si è svolto nell'ambito del progetto PIF "Val d'Orcia: la fonte dell'olio" che ha avuto come obiettivo quello di consolidare il ruolo delle aziende olivicole sul territorio della Val d'Orcia e sui mercati, mediante la promozione e la diffusione dell'innovazione di prodotto e di processo. A questo scopo il progetto ha identificato le tecniche di gestione agronomica più appropriate all'areale pedo-climatico della Val d'Orcia e sviluppato un modello produttivo basato sulle buone pratiche agricole. È, infatti, importante che un prodotto ed un processo siano sostenibili oltre che da un punto di vista economico, anche da un punto di vista ambientale. In un'ottica di sviluppo sostenibile, le *performance* ambientali sono state valutate e validate attraverso l'analisi Life Cycle Assessment (LCA – Valutazione del Ciclo di Vita). Attraverso l'analisi LCA sono state quindi individuate le fasi e i momenti in cui si

concentrano le maggiori criticità ambientali, informazioni necessarie per realizzare interventi di miglioramento. In questo studio, applicando tale metodologia, sono stati valutati e quantificati gli impatti ambientali della produzione di olio d'oliva, confrontando tre differenti sistemi di coltivazione delle olive: il primo di tipo convenzionale, il secondo di tipo biologico e il terzo definito innovativo. Il metodo innovativo ha previsto l'introduzione delle tecniche di fertilizzazione fogliare e sovescio, normalmente non utilizzate in Val d'Orcia.

## Materiali e Metodi

Lo studio LCA, effettuato secondo la normativa UNI EN ISO 14040 (2006) e UNI EN ISO 14044 (2006), ha previsto i seguenti criteri:

- sistema studiato: produzione di olio extra vergine di oliva, considerando tre sistemi distinti di coltivazione delle olive nella zona della Val d'Orcia in Toscana.
- unità funzionale scelta: 1 kg di olio compreso il suo imballaggio in bottiglia di vetro da 0,75.
- confini del sistema: comprendono tutte le attività di coltivazione delle olive in un anno fino alla loro raccolta per essere avviate al frantoio (fase di coltivazione) e all'imbottigliamento ed etichettatura in frantoio (fase di produzione).

Per la fase di coltivazione delle olive dello scenario biologico e convenzionale sono stati utilizzati dati raccolti (dati primari) attraverso numerosi sopralluoghi di monitoraggio aziendale e interviste agli olivicoltori. Nello specifico, sono state selezionate 5 aziende a gestione biologica e 5 aziende a gestione convenzionale. Le aziende campione sono state sottoposte a intervista per raccogliere informazioni sulle tecniche di gestione agronomica e meccanica utilizzate, dal campo all'arrivo al frantoio. Il questionario utilizzato ha permesso di raccogliere, per ogni azienda campione: dati identificativi (i.e. nome, collocazione e contatti dell'azienda); dati di campo (superficie coltivata, sesto d'impianto, cultivar e produttività); dati sulle operazioni colturali effettuate durante l'anno (tipo e numero di operazioni colturali come trattamenti, concimazioni, raccolta, potatura, ecc.), periodo e durata degli interventi, caratteristiche e consumi degli strumenti/attrezzature/macchinari/prodotti utilizzati e smaltimento rifiuti. Per lo scenario di coltivazione innovativo sono state fatte, invece, delle stime.

Per la fase di produzione sono stati utilizzati dati primari riguardanti il frantoio al quale le olive (coltivate con tutti e tre i metodi) sono state conferite. I dati di coltivazione si riferiscono a dati medi del triennio 2014-2016; i dati del frantoio sono riferiti all'anno 2017. La banca dati LCA utilizzata è stata Ecoinvent, v.3.4 (2017). Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il codice di calcolo SimaPro vs 8.5.

Per tutti e tre i metodi di raccolta, il trasporto dei rifiuti agli impianti di trattamento, così come il trasporto di fornitura dei materiali ausiliari, è stata assunta una distanza media di 50 km con dati relativi ad uno dei modelli Ecoinvent. Sono

state, inoltre, indicate le emissioni relative all'utilizzo dei fertilizzanti impiegati per i diversi metodi di produzione e calcolati attraverso l'utilizzo di modelli con riferimento alle "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" dell'IPCC (2016) e al Rapporto ISPRA (2009) "Agricoltura – Emissioni nazionali in atmosfera dal 1990 al 2009".

Gli indicatori di impatto potenziale e le fonti dei metodi usati per il calcolo sono indicati in tabella 1.

Tab.1 - Elenco degli indicatori di impatto ambientale e dei relativi metodi utilizzati per lo studio

Tab.1-List of environmental load indicators and related used methods used for the study

Indicatore di impatto	Unità di misura	Metodo di riferimento
Riscaldamento globale	kg CO <sub>2</sub> eq	CML-IA baseline v. 3.04
Assottigliamento dello strato di ozono	kg CFC-11 eq	
Ecotossicità delle acque dolci	kg 1,4-DB eq	
Ecotossicità delle acque marine	kg 1,4-DB eq	
Ecotossicità terrestre	kg 1,4-DB eq	
Ossidazione fotochimica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	
Acidificazione	kg SO <sub>2</sub> eq	
Eutrofizzazione	kg PO <sub>4</sub> eq	CED –Cumulative Energy Demand (v.1.09) (Althaus <i>et al.</i> , 2007)
Consumo risorse non rinnovabili	MJ	
Consumo risorse rinnovabili	MJ	Inventario delle sostanze. Comprende consumi diretti e indiretti
Consumo netto di acqua	Litri	

## Risultati e Discussione

Con riferimento agli indicatori di tab.1, i risultati ottenuti relativi alla valutazione degli impatti dei tre scenari di produzione<sup>1</sup> delle olive, hanno mostrato che gli impatti ambientali del metodo biologico relativi alla fase di coltivazione, sono risultati inferiori per tutti gli indicatori, ad esclusione del consumo idrico, dove il metodo innovativo è risultato avere un impatto minore. Le performance ambientali riferite alla coltivazione effettuata con il metodo innovativo sono risultate simili a quelle del metodo biologico. Gli impatti del metodo convenzionale sono risultati maggiori secondo tutti gli indicatori ambientali considerati.

Per tutti e tre gli scenari di coltivazione, le fasi che hanno le quote parti maggiori sugli impatti sono: la produzione dei fertilizzanti, le emissioni dovute all'uso dei fertilizzanti e le operazioni colturali. Nello specifico, per tutti gli scenari di coltivazione, nella fase di produzione dei fertilizzanti la quota parte maggiore degli impatti è dovuta ai processi che descrivono la componente di N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Per le operazioni colturali, invece, l'impatto è causato

<sup>1</sup> Tutti i risultati di impatto riferiti alla fase di coltivazione delle olive sono espressi con unità funzionale pari a 1 ha di campo coltivato.

principalmente dal consumo di gasolio agricolo. Nel caso del consumo idrico, anche i trattamenti influiscono in maniera importante sull'impatto a causa del consumo diretto di acqua per la diluizione dei prodotti. Questo si nota particolarmente nei metodi biologico e innovativo poiché l'incidenza della fase di produzione dei fertilizzanti è inferiore.

Oltre ai processi citati, seppur con incidenze minori, la fase di raccolta ha impatti significativi causati dal consumo di gasolio agricolo che, in linea con le operazioni colturali, influisce soprattutto sul riscaldamento globale, l'assottigliamento dello strato di ozono, l'ossidazione fotochimica, l'acidificazione e il consumo di risorse (Fig. 1).

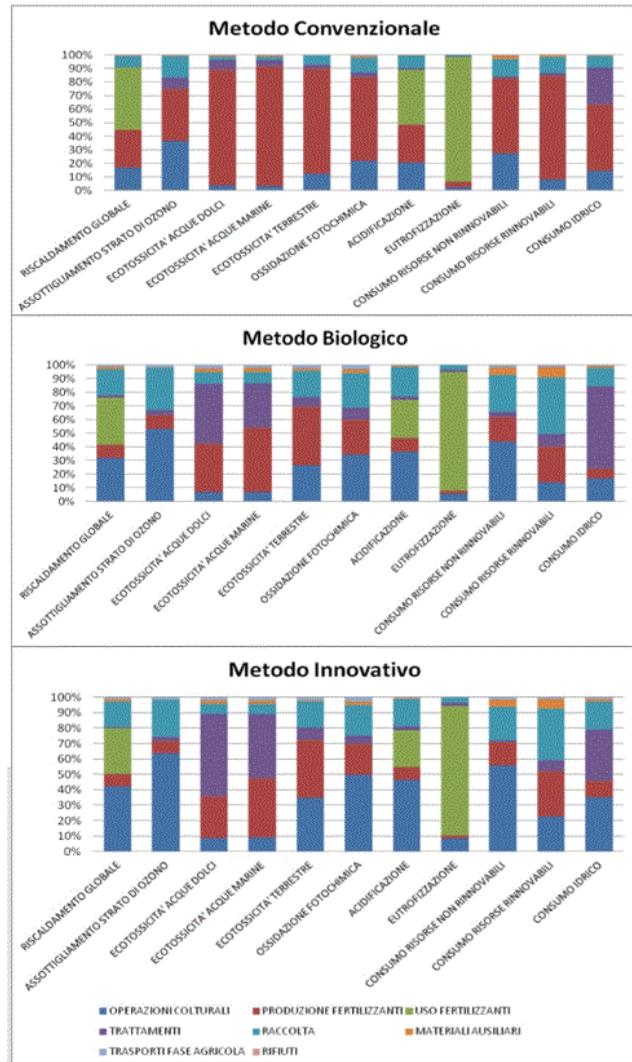


Figura 1: Impatti ambientali dei tre metodi nella fase di coltivazione delle olive

Figure 1: environmental load of the three methods during olives cultivation

L'impatto ambientale della produzione<sup>2</sup> dell'olio extra vergine di oliva in frantoio e dell'imbottigliamento è uguale per tutti e tre gli scenari in quanto i processi sono comuni. I risultati hanno mostrato che, per tutti gli indicatori di impatto, il processo maggiormente impattante è rappresentato dalla produzione dei materiali del packaging, principalmente per la bottiglia di vetro.

### Conclusioni

I risultati delle analisi LCA presentate hanno consentito di soddisfare gli obiettivi prefissati e di indagare le eventuali opportunità di miglioramento delle prestazioni ambientali dei prodotti nelle diverse fasi di ciclo di vita analizzando i fattori più significativi e gli elementi di criticità. Dalle analisi dei tre scenari di produzione di olio, per tutti gli indicatori di impatto, si deduce che i due processi maggiormente impattanti risultano essere la fase di coltivazione delle olive e la produzione dei materiali del packaging. Per la fase di coltivazione il metodo biologico misura mediamente l'impatto minore rispetto al convenzionale e allo scenario innovativo seppure quest'ultimo, molto simile al biologico. È necessario ricordare che, essendo l'analisi LCA un modello scientifico che rappresenta in modo semplificato la realtà di un sistema fisico complesso, non si può ottenere mediante essa una precisa e completa raffigurazione di ogni effetto sull'ambiente.

### Bibliografia

Althaus H.-J., Hischer R., Doka G., Bauer Ch., Dones R., Nemecek T., Hellweg S., Humbert S., Margni M., Koellner T. and Loerincik Y. 2007. Implementation of life cycle impact assessment methods Data v20 (2007) Ecoinvent report No 3 (INIS-CH--10091). Frischknecht R., and Jungbluth N. Switzerland, 151 pp.

ARSIA Toscana, 2002. La Toscana nella storia dell'olivo e dell'olio. A cura di Paolo Nanni - Effeemme Lito s.r.l. Firenze, 334 pp.

Ecoinvent, 2017 [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).

IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), 2009. Emissioni Nazionali in atmosfera dal 1990 al 2009. Agricoltura Rapporti 140/2011.

UNI EN ISO 14040:2006, Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento.

UNI EN ISO 14044:2006, Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida.

<sup>2</sup> Tutti i risultati di impatto riferiti alla fase di produzione di olio sono espressi per l'unità funzionale uguale a 1 kg di olio prodotto e confezionato

**Ringraziamenti**

La Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze per il sostegno fornito alla ricerca. Il progetto APPAGO a valere sul PSR della Regione Toscana per l'allestimento delle aree sperimentali negli oliveti. LCA-Lab per il sostegno fornito nella stesura del rapporto.

# STUDIO PRELIMINARE PER LO SVILUPPO DI UN DSS RELATIVO ALL'UTILIZZO AGRONOMICO DEGLI EFFLUENTI ZOOTECNICI E DEI DIGESTATI

## PRELIMINARY STUDY FOR THE DEVELOPMENT OF A DSS FOR THE AGRONOMIC UTILIZATION OF ZOOTECNIC AND DIGESTATE EFFLUENTS

Andrea Cicogna<sup>1\*</sup>, Valentina Gallina<sup>1</sup>, Alessandra Carnio<sup>2</sup>, Stefano Barbieri<sup>2</sup>, Valentino Volpe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ARPA-FVG – S.O.C. Osmer, Via Natisone, 43, 33057 Palmanova (UD) -

<sup>2</sup> ERSa –FVG – Servizio fitosanitario e chimico, ricerca, sperimentazione e assistenza tecnica Via Sabbatini, 5, 33050 Pozzuolo del Friuli (UD)

\*andrea.cicogna@arpa.fvg.it

### Abstract

The spreading of livestock effluents, digestates and nitrogen fertilizers on agricultural areas is a highly regulated practice. In general, pursuant to national Italian regulations, the ban on spreading in vulnerable zones is mandatory from 1<sup>st</sup> December to 31<sup>st</sup> January. However, regional administration must extend the prohibition in the months of November and February, depending on the meteorological weather conditions, so as to reach a total of 90 forbidden days. A study was conducted in order to apply the aforementioned regulation principles in Friuli Venezia Giulia. The study led to the implementation of a Decision Support System (DSS).

The concerned tool takes into account:

- 1) knowledge of regional pedology and climatology (subdivision of the territory into 6 homogeneous areas);
- 2) the pluviometric measures from the regional meteorological stations network;
- 3) the official ARPA-OSMER rain forecasts (from bulletins), which are subjectively carried out by expert forecasters on the basis of all available knowledge elements (numerical models, climatology, experience,...).

An algorithm has been developed for the optimization of the distribution of the forbidden days in November and February. The tool was tested on a 14 years-period (2003-2017) of meteorological observed and forecast data.

The study was carried out merging the professional skills of ARPA-FVG and ERSa-FVG teams.

### Parole chiave

Friuli Venezia Giulia, spandimento fertilizzanti azotati, caratteristiche territoriali, previsioni meteorologiche

### Keywords

Friuli Venezia Giulia, nitrogen fertilizers spreading, territorial characteristics, weather forecasts

### Introduzione

La distribuzione dei fertilizzanti azotati sulle superfici agricole è una pratica fortemente regolamentata. Infatti, la Direttiva Nitrati (91/676/CEE) è stata recepita, in prima istanza, dallo Stato italiano attraverso vari decreti (DM 19 aprile 1999; il D.Lgs. 152/2006; DM 25 febbraio 2016) che dettano, a loro volta, alcune regole di attuazione per le Regioni. Recentemente attraverso il DM 25 febbraio 2016 è stata introdotta la possibilità di gestire il periodo di divieto obbligatorio della distribuzione di fertilizzanti azotati nelle zone vulnerabili da nitrati sulla base di bollettini agrometeorologici in modo da fornire informazioni complete riguardo ai periodi di spandimento.

In Friuli Venezia Giulia, il regolamento sull'utilizzazione agronomica dei fertilizzanti azotati e programma d'azione nelle zone vulnerabili da nitrati (D.P.Reg 03/2013) prende origine da diversi articoli di leggi regionali (art. 20 LR 16/2008; art. 3 comma 28 LR 24/2009; art. 19 LR 17/2006) a loro volta ispirati dalla normativa nazionale. La Legge Regionale 26/2019 all'articolo 12 comma 8 integra le funzioni dell'OSMER-ARPA con la possibilità di emanare specifici bollettini agrometeorologici, anche per diramare informative sui possibili periodi di spandimento dei

fertilizzanti azotati in applicazione del D.M. 25 febbraio 2016.

Il DM 25 febbraio 2016 impone il divieto di spandimento dei fertilizzanti azotati sui terreni nelle zone vulnerabili, durante il periodo invernale, per motivazioni essenzialmente ambientali. Tale divieto è tassativo dal 1° dicembre al 31 gennaio (62 giorni consecutivi).

Le Regioni sono chiamate ad estendere tale divieto anche nei mesi di novembre e febbraio in modo da raggiungere un totale di 90 giorni. In alcuni casi, legati all'ordinamento culturale delle aziende o a particolari tipologie di fertilizzante utilizzato, il divieto raggiunge i 120 giorni, coprendo in questo modo per intero anche i mesi di novembre e febbraio. In alcune regioni (Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna), gli ulteriori 28 giorni di divieto da individuare nei mesi di novembre e febbraio sono definiti in funzione dell'andamento meteorologico (Antolini et al., 2017; Craveri et al., 2017).

In estrema sintesi vengono vietati quei giorni in cui gli strati superficiali dei terreni risultano saturi d'acqua in seguito a precipitazioni o quando, per i giorni successivi, è prevista pioggia.

Il lavoro qui esposto ha l'obiettivo di presentare una proposta per l'elaborazione di bollettini di divieto per la distribuzione di fertilizzanti azotati nelle zone vulnerabili da nitrati del Friuli Venezia Giulia. Tale metodologia mutua gli analoghi approcci precedentemente adottati nelle regioni italiane limitrofe, tenendo conto delle peculiarità territoriali della regione.

## Materiali e Metodi

Il lavoro proposto intende mutuare quanto già in uso in altre regioni italiane, utilizzando i tre giorni pregressi e i tre giorni successivi per definire i giorni di divieto a seconda di alcune soglie di precipitazioni prestabilite.

I principali aspetti del metodo sono i seguenti:

1. individuazione di zone omogenee;
2. Identificazione di stazioni pluviometriche rappresentative di ogni zona e misurazione delle piogge pregresse al giorno di divieto;
3. utilizzazione delle previsioni ufficiali di ARPA-OSMER per stimare le piogge future rispetto al giorno di divieto;
4. definizione della soglia di pioggia oltre la quale viene emesso il divieto;
5. definizione di un algoritmo per l'emissione del divieto.

Per testare e validare il metodo sono stati utilizzati i dati a disposizione di ARPA-OSMER per gli anni dal 2003 al 2017.

Di seguito, una descrizione degli aspetti del metodo sopracitati.

### 1. Individuazione di zone omogenee

In una prima fase il territorio regionale di pianura e collina è stato suddiviso in 6 zone in cui eseguire l'analisi.

Tale ripartizione ha permesso di identificare le aree omogenee considerando sia la climatologia (soprattutto la pioggia), sia la pedologia ed è indipendente dalla zonizzazione delle aree vulnerabili del territorio regionale.

In accordo, quindi, con la suddivisione già utilizzata da ERSA (Michelutti et al. 2003, Michelutti 2005, Michelutti et al. 2006), le zone sono le seguenti:

- A. bassa pianura pordenonese;
- B. alta pianura pordenonese;
- C. bassa pianura udinese;
- D. media e alta pianura udinese e collinare;
- E. Isontino;
- F. triestino.

Nella mappa sottostante (Figura 1) sono evidenziate le aree di emissione del bollettino identificate per la regione.

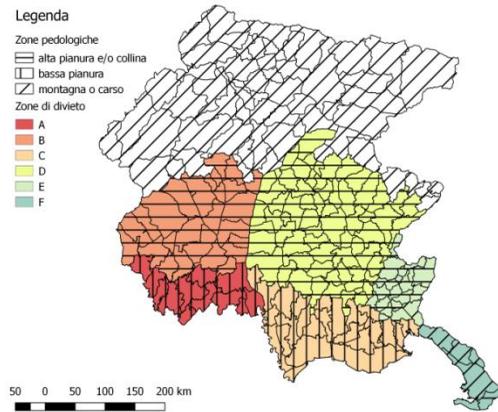


Fig. 1 - Zone omogenee per l'emissione del bollettino di divieto.

Fig. 1 – Homogeneous zones for the ban bulletin.

### 2. Identificazione di stazioni pluviometriche rappresentative di ogni zona

Per ogni zona sono state utilizzate le stazioni che meglio la rappresentano, al fine di estrarre i dati di pioggia pregressa (i.e. 3 giorni prima del giorno di interesse).

Le stazioni considerate sono le seguenti:

- A. Brugnera, San Vito al Tagliamento;
- B. Pordenone, Vivaro;
- C. Cervignano, Fossalon, Lignano, Palazzolo dello Stella;
- D. Codroipo, Talmassons, Udine S.O, Cividale, Faedis, Fagnana, Gemona;
- E. Capriva del Friuli, Gradisca D'Isonzo;
- F. Sgonico, Trieste.

### 3. Utilizzazione delle previsioni ufficiali di ARPA-OSMER per le piogge future

Per quantificare le piogge future, sono state utilizzate le previsioni ufficiali di ARPA-OSMER che presentano le seguenti caratteristiche:

- sono soggettive perché è il previsore esperto che, sulla base di tutti gli elementi a sua conoscenza (modelli numerici, climatologia, esperienza, ...), elabora la previsione;
- sono quantitative, in quanto le piogge previste, anche se descritte con aggettivi (i.e. deboli, moderate, abbondanti, intense, molto intense), corrispondono rispettivamente a classi quantitative (i.e. 0-5, 5-10, 10-30, 30-100, >100 mm).

Questo approccio riesce a minimizzare gli errori, intrinseci in qualunque prodotto previsionistico, potendo combinare le previsioni dei modelli all'esperienza dei previsori unitamente alle loro conoscenze sulla climatologia del territorio. È opportuno anche sottolineare che questa previsione è il prodotto previsionistico ufficiale adottato dall'OSMER a cui è bene fare riferimento.

Le previsioni di ARPA-OSMER vengono emesse suddividendo la regione in 9 aree distinte, come riportato in Figura 2.



Fig. 2 – Aree di previsione.  
Fig. 2 – Weather forecast areas

Le aree di previsione (i.e. A1, A2, A3, ecc.) a cui riferirsi per ogni area (i.e. A, B, C, D, E, F) nella definizione delle piogge previste vengono assimilate come segue: A)→A5, B)→A5, C)→A8, D)→A6, E)→A7, F)→A9.

Le previsioni che vengono emesse nelle diverse zone da ARPA-OSMER forniscono intervalli di pioggia diversi a seconda dell'intensità di pioggia prevista. In questo approccio, in via cautelativa, ad ogni classe di previsione viene assegnato solo il valore più alto dell'intervallo (per es. 0 - 5 mm → 5 mm).

Bisogna inoltre tener conto che, nel giorno di emissione del divieto, non sono note le misure di pioggia dell'intera giornata (che deve ovviamente ancora concludersi). Pertanto la valutazione della pioggia per quel giorno viene fatta sulla base delle previsioni emesse il giorno precedente.

#### 4. Definizione della soglia di pioggia oltre la quale viene emesso il divieto

Il metodo proposto intende identificare il divieto nel caso in cui nei giorni precedenti abbia piovuto superando una certa soglia e/o vi sia la previsione di pioggia per i giorni successivi che superi una certa soglia.

In prima istanza, sono state considerate le soglie utilizzate nelle regioni italiane limitrofe, pertanto, le soglie utilizzate sono state: 5 mm, 10 mm e 15 mm.; in base a tali soglie, sono stati condotti dei test considerando il periodo 2003-2017.

#### 5. Definizione di un algoritmo per l'emissione del divieto

Come precedentemente accennato, il metodo proposto, sulla base delle conoscenze pedologiche e climatiche del territorio regionale, ha l'obiettivo di identificare i giorni in cui non è permesso distribuire fertilizzanti azotati nei mesi di novembre e febbraio. L'obiettivo del metodo è quello di distribuire in modo uniforme i 28 giorni di divieto tra i due mesi identificati dalla normativa.

Alla luce di quanto appena affermato, non è sufficiente che l'algoritmo studiato consideri le piogge cumulate dei tre giorni precedenti e le piogge dei tre giorni successivi al

giorno di divieto per verificare se superano la soglia stabilita.

Infatti, procedendo in tal modo, non si riuscirebbe a contemplare due situazioni limite che potrebbero verificarsi:

- piove tanto: tutti i giorni di divieto vengono concentrati nei primi giorni disponibili (novembre);
- piove poco: rimangono giorni di divieto che non vengono utilizzati per assenza di pioggia e i divieti restanti devono essere necessariamente imposti a fine febbraio.

A seconda che si realizzino una o l'altra delle due situazioni limite sopra descritte, risulta evidente che la gestione dei giorni di divieto non viene ottimizzata in alcun modo: potrebbe realizzarsi il caso in cui i giorni di divieto siano inferiori rispetto a quanto stabilito dalla norma, ma potrebbe pure verificarsi il caso in cui le condizioni meteo siano tali da vietare l'entrata in campo per periodi più lunghi rispetto a quanto previsto dalla normativa.

E' stato quindi necessario identificare un algoritmo che consentisse di suddividere prioritariamente i giorni di divieto, parte in novembre e parte in febbraio e in grado di minimizzare, per quanto possibile, i "giorni non gestiti". Con tale indicazione si intendono quei giorni in cui, seppur in presenza di condizioni meteo sfavorevoli, essendo già stati emessi tutti i 28 giorni di divieto, non è possibile, per norma, attribuirne di ulteriori. In questi giorni resta in capo all'agricoltore la decisione sull'entrare in campo o meno.

Si è ipotizzato così di vietare alcune giornate da calendario, nello specifico i giorni di venerdì, sabato, domenica e lunedì nonché il primo giorno di novembre, mentre il primo giorno di febbraio è comunque considerato come giorno consentito indipendentemente dal giorno della settimana. La *ratio* di questa scelta è quella di permettere di entrare in campo nel primo giorno dopo la sospensione obbligatoria di dicembre e gennaio.

Il meccanismo appena descritto va ad integrare quello meteo, come segue:

- 1) in condizioni di bel tempo i divieti vengono emessi come stabilito da calendario;
- 2) in caso di mal tempo i divieti sono emessi in funzione del meteo;
- 3) dopo un periodo di maltempo e in condizioni di possibile entrata in campo, indipendentemente dal giorno della settimana non vengono emessi più divieti da calendario. I divieti dettati dal calendario sono nuovamente emessi quando il numero di giorni di divieto cumulati fino a quel punto previsti da calendario raggiunge il numero di quelli già emessi da inizio mese o, in alternativa, se riprende il brutto tempo.

La figura 3 illustra l'integrazione tra questi due aspetti. Si nota come a novembre sia il calendario ad imporre i giorni di divieto perché il meteo è prevalentemente favorevole. Al contrario, a febbraio è il meteo ad imporre i giorni di divieto che risultano concentrati dall'1 all'11. La linea rossa rappresenta l'effetto congiunto dei due metodi e quindi gli effettivi divieti e permessi stabiliti.

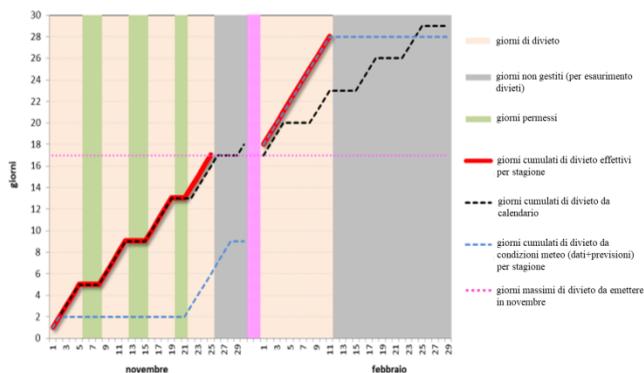


Fig. 3 - Giorni di divieto e permesso nell'anno 2007-2008 integrando i divieti meteo e da calendario.

Fig. 3 – Prohibited and authorized days in the year 2007-2008 merging weather and calendar bans.

Le zone grigie rappresentano quelle in cui i permessi erano “esauriti”, cioè i giorni non gestiti, in cui l'agricoltore deve valutare in proprio la possibilità di entrare o meno in campo.

Per individuare come suddividere i 28 giorni di divieto tra novembre e febbraio in modo da evitare il verificarsi di situazioni estreme in cui tutti i divieti vengono concentrati in un unico lungo periodo senza interruzioni e, soprattutto, minimizzare i giorni non gestiti (cioè quelli in cui non viene assegnato nessun divieto né per condizioni meteo avverse né per calendario), sono state testate svariate possibili suddivisioni tra i due mesi. Come si può vedere in figura 4, considerando tutte le zone (A, B, C, D, E, F) e tutti gli anni disponibili (2003-2017), è emerso che la suddivisione migliore è quella in cui vengono posti 17 giorni di divieto a novembre e i restanti 11 a febbraio.

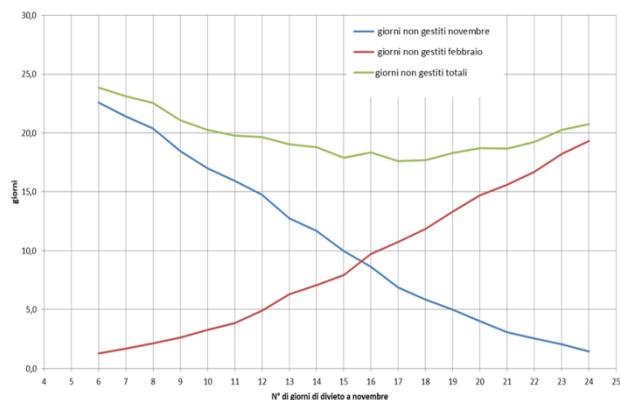


Fig. 4 - Rappresentazione della variazione del numero di giorni non gestiti al variare del numero di giorni di divieto assegnati al mese di novembre.

Fig. 4 - Representation of the variation in the number of days not-managed considering the variation in the number of banned days assigned to November.

Nel paragrafo che segue, vengono presentati alcuni risultati del metodo qui sopra descritto.

## Risultati e discussioni

Il metodo appena illustrato è stato testato considerando i dati e le previsioni di pioggia dal 2003 al 2017.

Per le piogge pregresse sono state estratte le misurazioni pluviometriche della rete meteorologica regionale per le stazioni identificate al punto 2 di “Materiali e metodi”.

L'analisi delle simulazioni tra il 2003-2017 con tre soglie diverse di pioggia (come spiegato al punto 4 di “Materiali e metodi”) indica che, mediamente, nelle 14 annate analizzate, i giorni identificati come vietati per motivi legati alle condizioni meteorologiche si assestano rispettivamente intorno ai 34, 30 e 27 e non vi sono grandi differenze tra le diverse zone (vedi tabella 1).

Dal confronto effettuato tra tecnici OSMER ed ERSA, è emerso che i 5 mm individuano una ragionevole soglia sia per aspetti agronomici (sopra i 5 mm, le condizioni di praticabilità dei terreni ai mezzi agricoli risultano piuttosto difficili) sia per la necessità di uniformarsi alle indicazioni individuate in altre regioni italiane (Veneto, Lombardia). I circa 34 giorni medi di divieto che individua la soglia di 5 mm possono essere ben gestiti alla luce dei 28 giorni di divieto obbligatorio.

Tab. 1 – Numero di giorni di divieto per le varie soglie in tutte le zone e per tutte le annate considerate

Tab. 1 - Number of banned days for the investigated thresholds in all the zones and for all the considered years

	Soglia 5 mm						Soglia 10 mm						Soglia 15 mm					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
<b>INVERNO</b>	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
2003-2004	35	35	31	40	36	34	32	32	28	32	27	29	27	27	26	30	27	24
2004-2005	24	24	26	27	27	34	18	18	13	17	16	11	16	16	13	17	16	6
2005-2006	25	25	32	29	30	35	25	25	25	27	27	29	23	23	23	22	24	19
2006-2007	29	29	33	33	35	35	22	24	25	29	29	29	14	16	22	24	27	26
2007-2008	22	22	22	22	30	28	17	19	15	17	17	13	17	17	10	14	13	13
2008-2009	34	34	39	40	42	44	34	34	39	34	39	42	34	34	35	34	39	37
2009-2010	43	43	49	40	51	54	38	40	39	36	41	37	36	36	34	29	36	32
2010-2011	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	35	34
2011-2012	19	16	17	14	16	12	9	9	9	9	12	8	9	9	9	9	7	2
2012-2013	42	43	48	41	51	53	33	35	37	36	40	45	33	33	29	35	37	40
2013-2014	55	55	55	53	55	51	53	53	51	52	53	51	49	51	48	52	46	49
2014-2015	44	48	41	43	39	38	35	35	32	37	34	38	22	25	27	35	27	24
2015-2016	33	33	35	32	38	37	25	25	31	31	35	33	22	22	31	29	33	28
2016-2017	31	31	38	34	43	44	26	26	29	32	38	38	21	21	23	31	31	32
<b>Media giorni</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>26</b>

D'altro canto la differenziazione delle soglie per zona (come viene fatto in altre regioni) si rivelerebbe come una complicazione del sistema non accompagnata da vantaggi evidenti. Inoltre l'impostazione di soglie diverse in comuni adiacenti in zone di transizione tra le diverse aree, potrebbe condurre a una diversificazione dei divieti non immediatamente comprensibile ai portatori di interesse e alle aziende agricole con possibili rimostranze e critiche sulla regola individuata. Per definire le piogge previste (punto 5 di “Materiali e metodi”), in questa fase, sono stati utilizzati due approcci che sono stati poi comparati per evidenziare la robustezza del metodo.

Da un lato sono state create delle previsioni sintetiche utilizzando le misure effettive di pioggia, dall'altro sono state utilizzate le previsioni effettivamente emesse da ARPA-OSMER (previsioni reali). Questo approccio ha permesso di verificare l'affidabilità delle previsioni reali che sono in grado,

con buona approssimazione, di predire le effettive piogge per l'identificazione dei giorni di divieto.

Infatti, già ad una prima osservazione, il numero di giorni di divieto che emerge dalle elaborazioni utilizzando previsioni sintetiche o reali non si differenzia di molto.

Tab. 2 – Tabella di contingenza per gli anni 2003-2017, per tutte le zone, per la soglia di 5 mm.

Tab. 2 - Contingency table for the years 2003-2017, for all zones, for the 5 mm threshold.

Tutte le zone		previsti	osservati	
		3282	3480	
Pioggia	osservati			
	si	no		
previsti	si	3179	103	<b>3282</b>
	no	301	2129	<b>2430</b>
		<b>3480</b>	<b>2232</b>	<b>5712</b>
POD (HIT)	0,91	Perc. Correct		0,93
POFD (FAR)	0,05	HSS		0,85
Bias	0,94	Odds ratio		218,30
base rate	0,61	PSS		0,87

Un'analisi più approfondita, attraverso le tabelle di contingenza (vedi tabella 2, Mason, 2003) permette di quantificare quanto adeguate risultino le previsioni reali (dato previsto) rispetto a quelle sintetiche (dato osservato).

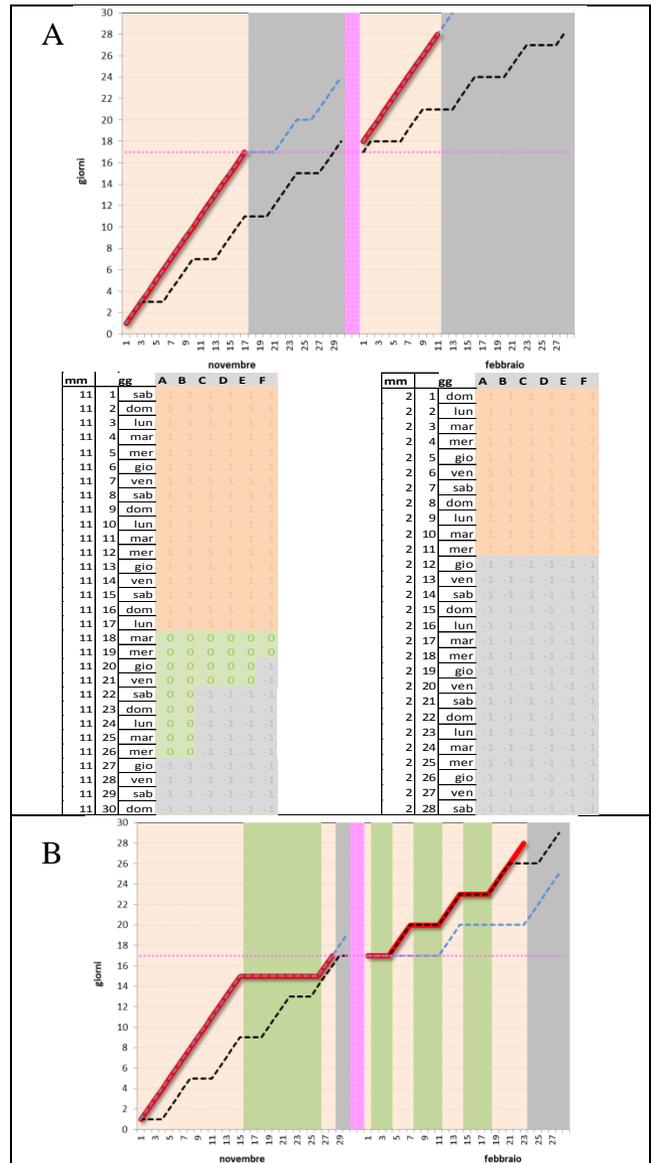
Si nota immediatamente che la percentuale in cui la previsione ha effettivamente identificato il giorno di divieto o di non divieto è del 93% (Perc. Correct) considerando tutte le zone e tutti gli anni. I valori ottenuti con l'analisi zona per zona (non riportata in questo lavoro) non si discostano molto dalla percentuale complessiva, assestandosi su valori che oscillano tra il 95 e il 91%. Anche altri indici della statistica bivariata (per es. POD<sup>1</sup>, POFD<sup>2</sup>, Bias<sup>3</sup>, PSS<sup>4</sup>) mostrano le buone performance delle previsioni rispetto al dato osservato.

Si vede immediatamente che la percentuale in cui la previsione ha effettivamente identificato il giorno di divieto o di non divieto è del 93%, considerando tutte le zone e tutti gli anni.

L'aspetto conclusivo di questo lavoro è rappresentato dall'elaborazione del bollettino di divieto condotta, come test, sugli anni precedenti. A titolo esemplificativo vengono qui riportati due casi. Nel primo esempio (figura

5 A) è rappresentata un'annata in cui il tempo è prevalentemente piovoso, di conseguenza sono le condizioni meteorologiche a prevalere rispetto alle regole da calendario. Nella seconda esemplificazione (figura 5 B) viene mostrata una situazione intermedia in cui a novembre sono le condizioni meteo a determinare i divieti, a febbraio il calendario.

In figura 5 i giorni di divieto sono rappresentati dal rosa, i giorni autorizzati sono in verde, mentre quelli non gestiti sono rappresentati in grigio.



<sup>1</sup> POD (PROBABILITY OF DETECTION) o HR (HIT RATE): rappresenta la frazione dei "SI" correttamente previsti rispetto al numero totale di volte in cui l'evento "SI" si è verificato.

<sup>2</sup> POFD (PROBABILITY OF FALSE DETECTION) o FAR (FALSE ALARM RATE): rappresenta la frazione di eventi previsti "SI" ma non verificati rispetto al numero totale di eventi che non si sono verificati. In altre parole rappresenta la frazione di eventi osservati "NO" che era stata erroneamente prevista come "SI".

<sup>3</sup> BIAS: permette di valutare la frequenza di previsione di eventi "SI" rispetto alla frequenza del verificarsi di eventi "SI", ciò è indicativo della tendenza a sovrastimare o sottostimare il numero di eventi "SI".

<sup>4</sup> PSS= POD-POFD, Peirce Skill Score.

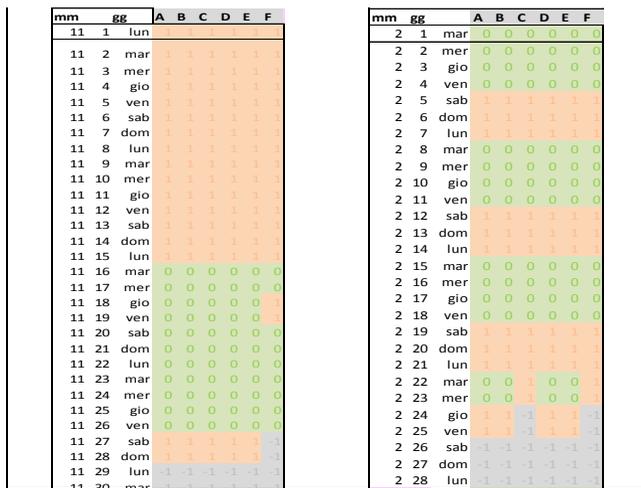


Fig. 5 – Esempi di bollettino di divieto per l'anno 2008-2009 (A), 2004-2005 (B).

Fig. 5 – Example of bulletin of banned days for the year 2008-2009(A) and 2004-2005(B).

## Conclusioni

Alla luce delle simulazioni eseguite sul metodo per 14 annate (dal 2003 al 2017) nei mesi di novembre e febbraio, emerge che il metodo risulta essere solido e sembra dare delle risposte consistenti rispetto alle esigenze operative previste.

Anche le previsioni ufficiali di pioggia emesse da ARPA-OSMER sembrano essere adeguate ed in linea con le reali misurazioni di pioggia. Tale risultato giustifica l'utilizzo di tali previsioni per l'identificazione dei giorni di divieto.

Il DSS proposto permette di distribuire in modo abbastanza uniforme i 28 giorni di divieto tra novembre e febbraio, attraverso l'utilizzo di alcune regole che tengano conto *in primis* della situazione meteorologica, ma anche dei giorni del calendario.

L'analisi della simulazione mostra come, con questo sistema, ogni anno vengano emessi i 28 giorni di divieto obbligatori. Inoltre, il sistema è teso a minimizzare i "giorni non gestiti", in altre parole quei giorni in cui, pur in presenza di condizioni meteo sfavorevoli (con conseguente emissione di divieto), essendo il cumulato dei giorni già oggetto di precedente divieto pari ai 28 previsti dalla norma, non è più possibile emettere nuovi divieti.

Il sistema qui proposto è il risultato della collaborazione di diverse sensibilità professionali (ARPA-OSMER ed ERSA) che in base alle proprie conoscenze e competenze, hanno elaborato e proposto un metodo usufruibile dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia per attuare in modo efficace la gestione del periodo di divieto obbligatorio della distribuzione dei fertilizzanti azotati nelle zone vulnerabili da nitrati.

Tale metodo potrà essere ulteriormente modificato tenendo conto della legislazione regionale vigente e, in parte, delle esigenze pratiche degli operatori in campo.

## Ringraziamenti

Questo lavoro è stato condotto nell'ambito delle attività del progetto *AgriCS, Agricoltura, Conoscenza, Sviluppo* finanziato dal Programma di Sviluppo Rurale 2014 – 2020 della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Misura 1, Sottomisura 1.2. Ringraziamo, inoltre, i nostri colleghi che hanno fornito approfondimenti e competenze che hanno notevolmente contribuito allo sviluppo di questo lavoro.

## Bibliografia

- Antolini G., Bassanino M., Bonini A., Checchetto F., Craveri L., Delillo I., Domenichini F., Praticcoli W., Riparbelli C., 2017. Agrometeorology for the application of nitrates directive - L'agrometeorologia nell'applicazione della direttiva nitrati. Atti del XX Convegno AIAM 2017.
- Craveri L., Riparbelli C., Bonini A., Checchetto F., Delillo I., Domenichini F., Motta S. R., 2018. The mobile applications (m-apps) for a sustainable agriculture - Le app per un'agricoltura sostenibile. Atti del Convegno XXI AIAM 2018.
- Decreto del Presidente della Regione 11 gennaio 2013, n. 03/Pres. Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione agronomica dei fertilizzanti azotati e del programma d'azione nelle zone vulnerabili da nitrati, in attuazione dell'articolo 20 della legge regionale 16/2008, dell'articolo 3, comma 28 della legge regionale 24/2009 e dell'articolo 19 della legge regionale 17/2006.
- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, Norme in materia ambientale.
- Decreto Ministeriale 19 aprile 1999. Approvazione del codice di buona pratica agricola.
- Decreto Ministeriale 25 febbraio 2016. Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue, nonché per la produzione e l'utilizzazione agronomica del digestato.
- Direttiva Europea 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, finale.
- Legge Regionale N. 6/2019 Misure urgenti per il recupero della competitività regionale
- Mason I. B., 2003. Forecast Verification. Ed. Jolliffe I.T. and Stephenson D.B., Wiley. pp. 240

- Michelutti G. (a cura di), 2005. Suoli e vigneti. Vocazione viticola della zona a D.O.C. "Friuli Grave" – Provincia di Udine. ERSA, Servizio della sperimentazione agraria, volume 186 pp. con allegata Carta dei suoli.
- Michelutti G., Barbieri S., Bianco D., Zanolla S., Casagrande G., 2006. Suoli e paesaggi del Friuli Venezia Giulia - 2. Province di Gorizia e Trieste. ERSA, Servizio ricerca e sperimentazione, volume 648 pp. con allegata Carta dei suoli.
- Michelutti G., Zanolla S., Barbieri S., 2003. Suoli e paesaggi del Friuli Venezia Giulia - 1. Pianura e colline del pordenonese. ERSA, Servizio della sperimentazione agraria, volume 510 pp. e relativa Carta dei suoli.

# LE POTENZIALITÀ DEI SERVIZI AGROMETEOROLOGICI REGIONALI NELLA DIFESA INTEGRATA DELLE COLTURE AGRARIE. RISULTATI DI UNA RECENTE INDAGINE

## *THE POTENTIALITIES OF AGROMETEOROLOGICAL SERVICES IN INTEGRATED PEST MANAGEMENT. RESULTS FROM A RECENT SURVEY*

Chiara Epifani\*, Roberta Alilla, Giovanni Dal Monte, Flora De Natale, Stanislao Esposito, Barbara Parisse

CREA – Centro di Ricerca Agricoltura e Ambiente, via della Navicella 4, Roma

[\\*chiara.epifani@crea.gov.it](mailto:chiara.epifani@crea.gov.it)

### **Abstract**

Regional (NUTS2) Agrometeorological Services play a crucial role in Integrated Pest Management (IPM), by providing farmers with agrometeorological information useful to apply pest and diseases monitoring and modeling, with the aim to reduce the use of pesticides. The National task force on agrometeorology, established within the Agrometeore project in the framework of the Italian National Rural Network, focuses on stimulating the resource sharing among the 21 different regional Agrometeorological Services and on promoting their interoperability. The results of a recent survey carried out through interviews with the references of the regional services allow to assess their current potentialities in IPM and to define the priority actions needed for their strengthening.

### **Parole chiave**

Servizi agrometeorologici, gestione dei dati agrometeorologici, partecipazione, Rete rurale nazionale

### **Keywords**

Agrometeorological services, agrometeorological data management, participation, National rural network

### **Introduzione**

Il Piano d'Azione Nazionale (PAN) sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (DM 22/01/2014) prevede che le Regioni e Province Autonome (di seguito denominate per brevità regioni), supportino l'applicazione della difesa integrata assicurando una rete di monitoraggio sullo sviluppo delle principali avversità e l'applicazione, ove possibile, dei sistemi di previsione e avvertimento, mediante la diffusione di bollettini che riportano anche informazioni agrometeorologiche. Nell'ambito del Programma Rete Rurale Nazionale 2014-2020 (MiPAAF, 2017), il progetto Agrometeore, condotto dal Centro Agricoltura e Ambiente del CREA, mira a facilitare le regioni nell'adempiere agli obblighi di legge per una migliore diffusione delle informazioni agrometeorologiche sul territorio nazionale. A questo fine è stato costituito, con il coinvolgimento dei rappresentanti di tutte le regioni, il *Tavolo di coordinamento nazionale nel settore dell'agrometeorologia*, che promuove la condivisione di conoscenze e strumenti operativi.

Tra le principali attività finora condotte, è stata svolta una ricognizione approfondita delle risorse agrometeorologiche attualmente disponibili presso le regioni, mediante due indagini *ad hoc*, la prima del 2016, di carattere più generale (Beltrano et al., 2017), e la successiva, di maggiore dettaglio, svoltasi a fine 2018. I risultati sono stati discussi ampiamente all'interno del Tavolo allo scopo di trovare delle soluzioni condivise per superare le criticità emerse. Alla luce di queste attività, con il presente contributo, si vuole delineare un quadro complessivo delle potenzialità dei servizi agrometeorologici e fitosanitari regionali nel

sostenere l'applicazione della difesa integrata, individuare le priorità di intervento e presentare le azioni di Agrometeore previste per il biennio 2019-2020, anche nella prospettiva di una revisione del PAN a cinque anni dalla sua introduzione (Falzarano, 2018).

### **Materiali e Metodi**

Il lavoro di ricognizione delle risorse e delle potenzialità dei servizi agrometeorologici regionali è stato svolto nell'ambito del citato Tavolo di coordinamento nazionale, che ha coinvolto rappresentanti dei servizi sia agrometeorologici che fitosanitari delle diverse regioni. In particolare, si è proceduto a una raccolta di informazioni via via di maggiore dettaglio adottando tre diversi approcci:

- somministrazione di un questionario *online* ai referenti regionali (2016);
- riunioni plenarie e incontri tematici (*focus group*) costituiti all'interno del Tavolo (2017-2018);
- interviste telefoniche rivolte ai rappresentanti dei servizi agrometeorologici e fitosanitari regionali (2018).

Il questionario ha riguardato le caratteristiche delle reti agrometeorologiche regionali, in termini di consistenza numerica e di sensoristica disponibile, informazioni generali sulla gestione dei dati, sull'utilizzo di modelli e sui servizi offerti agli agricoltori e una parte finale dedicata alle criticità.

Successivamente, le riunioni plenarie e i *focus group* hanno approfondito tutte le tematiche indagate, con particolare attenzione a due argomenti di fondamentale importanza: il controllo di qualità e la ricostruzione delle serie dei dati agrometeorologici (De Natale et al., 2018). Trattandosi di

argomenti piuttosto complessi e con lo spirito di favorire lo scambio di conoscenze anche per una standardizzazione delle procedure, si è scelto di organizzare dei *focus group*, invitando i servizi con maggiore esperienza a illustrare i loro metodi di lavoro a tutto il Tavolo. Alla presentazione delle diverse strategie adottate dai referenti invitati è seguito un momento di confronto e di sintesi sulle soluzioni migliori.

Come ultima fase di indagine, per consentire a tutti i referenti regionali di contribuire attivamente alla ricognizione, e per superare i limiti del precedente questionario online, costituito principalmente da domande chiuse, si è proceduto a rivolgere interviste dirette per via telefonica. I quesiti posti sono stati articolati in tre sezioni: la prima riguardante la ricostruzione dei dati mancanti (tipo di dati, scala temporale, metodi e strumenti informatici adottati), la seconda i modelli agrometeorologici utilizzati, la terza finalizzata a individuare le esigenze prioritarie di formazione. L'approccio tramite intervista ha permesso di modulare le domande in base alle diverse situazioni considerate. Inoltre, nei casi in cui erano presenti due distinti referenti per i settori agrometeorologico e fitosanitario, si è proceduto con una doppia intervista.

L'indagine ha visto la partecipazione attiva di tutti i referenti regionali, ad esclusione di quelli della Regione Puglia, il cui servizio si trovava in una fase di riorganizzazione.

L'elaborazione delle informazioni raccolte, integrate con un lavoro di ricerca su web, ha prodotto dei quadri di sintesi e, laddove possibile, degli indicatori del livello di operatività dei servizi.

## Risultati e Discussione

I risultati complessivi delle due diverse campagne di indagine (2016 e 2018) e dell'ampia discussione svoltasi nell'ambito del Tavolo mostrano che, a fronte di realtà regionali ancora piuttosto eterogenee, c'è una concreta partecipazione nella definizione di soluzioni condivise.

Come emerso dalla prima indagine, alla quale hanno partecipato tutte le regioni, molti servizi dispongono di risorse agrometeorologiche adeguate per le applicazioni nella difesa fitosanitaria (Beltrano *et al.* 2017). Considerando sei grandezze fondamentali per le applicazioni agrometeorologiche (temperatura dell'aria, precipitazione, umidità relativa dell'aria, velocità del vento, radiazione solare e bagnatura fogliare), serie orarie di questi dati sono disponibili per circa il 67% dei servizi. Dall'indagine più recente (2018) risulta che il 71% delle regioni adottano modelli per la difesa da parassiti e patogeni.

La seconda strada seguita per valutare le potenzialità delle regioni nell'ambito della difesa fitosanitaria è consistita nel promuovere un approfondimento su due aspetti imprescindibili per poter svolgere un servizio efficace: la qualità dei dati agrometeorologici e la disponibilità di serie complete. Una base dati completa e affidabile è infatti necessaria per la modellistica fitosanitaria. Attraverso due *focus group*, i servizi regionali sono stati chiamati a

confrontarsi sulle procedure seguite nel trattamento dei dati e sugli strumenti sviluppati e/o adottati, allo scopo di convergere verso standard comuni. La partecipazione è stata in entrambi i casi molto attiva, sia in termini numerici (con 15 regioni rappresentate nel *focus group* sulla qualità dei dati e 19 in quello sulla ricostruzione dei dati mancanti), sia in termini qualitativi. Infatti, gli interventi di approfondimento sui metodi seguiti da parte di alcuni servizi sono stati l'occasione di rafforzare le competenze e di promuovere lo scambio di strumenti e di procedure. Un primo risultato concreto è stato la redazione di un documento di linee guida sul controllo di qualità dei dati agrometeorologici, condiviso all'interno del Tavolo e attualmente in fase di verifica finale, prima di proporlo per un utilizzo operativo. Sempre sul tema del controllo di qualità dei dati, alcuni sistemi di controllo adottati hanno suscitato molto interesse da parte dei diversi servizi, proprio nell'ottica di una condivisione di strumenti operativi. In particolare si citano il sistema di gestione dei dati meteorologici *Omnia-Stork*, un'evoluzione del sistema *Omnia* sviluppato dal Friuli Venezia-Giulia (Cicogna *et al.*, 2015), e il programma di analisi e gestione dei dati agrometeorologici PRAGA messo a punto dall'Emilia-Romagna (Antolini *et al.*, 2006). La documentazione relativa a queste attività è consultabile sul sito della Rete Rurale nell'apposita sezione Agrometeo (<http://www.reterurale.it/materialiagrometeo>).

Tramite le interviste dirette, nel 2018 sono state raccolte informazioni più complete e aggiornate, relativamente alla modellistica adottata (agrometeorologica e fitosanitaria), agli strumenti e alle competenze disponibili. Anche in questa circostanza, l'adesione all'iniziativa è stata alta e ha coinvolto 20 regioni su 21.

Dalle risposte ottenute (integrate con una ricerca su web) è emerso che 12 regioni provvedono al monitoraggio fenologico delle principali colture con rilievi in campo, spesso accompagnato da quello delle loro avversità biotiche, utilizzando trappole e captaspore. Attualmente 15 regioni delle 20 intervistate applicano almeno un modello entomologico o fitopatologico e in alcuni casi l'utilizzo di modelli è molto più ampio. Delle restanti 5, alcune condividono i dati con soggetti terzi (pubblici o privati) che si occupano della modellistica fitosanitaria, altre al momento non sono operative.

Le risposte coincidono quasi sempre con quelle di una precedente indagine (Spanna *et al.*, 2015), anche se per alcune regioni la disponibilità di modelli sembra essere cambiata in termini di numero e tipologia rispetto al passato.

Le avversità biotiche di maggiore interesse sono ovviamente quelle che minacciano le colture più redditizie e numerosi infatti sono i servizi che hanno messo in atto strategie per prevenire/contenere la diffusione di patogeni e parassiti principalmente sulla vite, sull'olivo e sulle pomacee.

In particolare, 13 regioni usano modelli per la peronospora della vite (*Plasmopara viticola*), 5 per la mosca dell'olivo



le principali grandezze agrometeorologiche e adottano uno o più modelli entomologici e/o fitopatologici. Tre sono i principali temi di approfondimento finora promossi dal Tavolo, relativi alla gestione dei dati e all'uso dei modelli. Al trattamento dei dati per ottenere serie agrometeorologiche complete e affidabili, idonee ad alimentare i modelli, sono stati dedicati specifici *focus group*, uno sul controllo di qualità dei dati e uno sulla ricostruzione dei dati mancanti.

Un altro tema, particolarmente sentito, riguarda l'uso di piattaforme informatiche, per le quali, nel corso delle interviste, si è manifestata non solo l'esigenza di acquisire competenze nel loro utilizzo, ma anche quella di sviluppare connessioni informatiche tra piattaforme diverse. L'adozione di piattaforme esterne richiede comunque un'intensa attività di calibrazione e test per avere accesso a strumenti mirati alle esigenze dei servizi, adeguati alle specificità locali, che forniscano un'informazione su scala territoriale. Almeno tre regioni (Piemonte, Marche, Sardegna) concordano sulla necessità di una piattaforma comune nazionale per la modellistica agrometeorologica e fitosanitaria.

Infine, il tema dell'uso operativo dei modelli è stato evidenziato da circa la metà delle regioni. C'è infatti la necessità di applicare i risultati dei modelli ai diversi contesti meteorologici, colturali e gestionali, allo scopo di tradurli in consigli efficaci per gli agricoltori.

Questi due ultimi temi verranno sviluppati nel nuovo biennio (2019-20) di Agrometeorologia, durante il quale si proseguirà nel processo di costituzione di un sistema integrato e condiviso delle risorse agrometeorologiche esistenti. A questo scopo il Tavolo rappresenta un contesto privilegiato per avviare un processo di coordinamento effettivo tra i servizi.

Tra le linee di azione previste per il nuovo biennio, oltre a rafforzare e sviluppare le competenze nel settore, attraverso *focus group* e pacchetti formativi, si prevede infatti di migliorare la disponibilità di dati agrometeorologici a livello nazionale e di sviluppare procedure e strumenti per l'elaborazione automatica dei prodotti agrometeorologici e fenologici, adattabili alle diverse esigenze regionali e nazionali e flessibili in relazione alle diverse fonti di dati. Infine con Agrometeorologia verrà fornito supporto tecnico al Mipaaft nella definizione dei contenuti del Piano strategico nazionale della nuova PAC, al fine di valorizzare le competenze agrometeorologiche nella futura politica di sviluppo rurale.

## **Bibliografia**

Antolini G., Tomei F., 2006. Praga - Programma di Analisi e Gestione dati Agrometeorologici. Atti del convegno AIAM "Agrometeorologia e gestione delle colture agrarie", Torino 6-8 giugno 2006: 79-82.

Beltrano M.C., De Natale F., Esposito S., Parisse B., 2017. Lo stato dell'arte sulle reti agrometeorologiche regionali. Indagine preliminare. Pubblicata a Giugno 2017 sul sito web della Rete Rurale Nazionale:

<https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/17294>.

Cicogna, A., Medeossi, R., Bellan, A., Gimona, A., Stefanuto, L., Micheletti, S., 2015. Omnia: un nuovo strumento per la gestione di dati meteorologici. Italian Journal of Agrometeorology, 3/2015: 73-80.

De Natale F., Alilla R., Dal Monte G., Epifani C., Esposito S., Gerardi E., Parisse B., 2018. Synergies among agrometeorological services of Italian regions through the AGROMETEORE project. Atti del XXI Convegno Nazionale di Agrometeorologia "Agrometeorologia per le Politiche di Sviluppo Rurale". Roma, 19-21 giugno 2018: 74-76.

Falzarano P., 2018. Uso sostenibile pesticidi, stato dell'arte dell'applicazione del PAN. Agrifoglio. Notiziario Regionale di agricoltura sostenibile. Mensile a cura dell'Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura. Anno XII, n.75:9-15.

MiPAAF, 2017 Programma Rete Rurale Nazionale Italia. Programmazione 2014-2020, 66 pp.

<https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/15003>.

Spanna F., Vercellino I., Cotroneo A., 2015. Sistemi di previsione e avvertimento, modelli previsionali. Giornate Fitopatologiche, Bologna 25 settembre 2015

<http://www.giornatefitopatologiche.it/it/altri-eventi/8/giornata-sugli-strumenti-attivati-in-italia-per-l-applicazione-della-difesa-integrata-obbligatoria/26/>.

# SIMULATIONS ON DIFFERENT GRAPEVINE CULTIVARS WITH THE IVINE CROP GROWTH MODEL

## *SIMULAZIONI SU DIVERSE VARIETA' DI UVA CON IL MODELLO DI CRESCITA IVINE*

Valentina Andreoli<sup>1\*</sup>, Claudio Cassardo<sup>1</sup>, Silvia Cavalletto<sup>2</sup>, Federico Spanna<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Torino – Department of Physics, via Pietro Giuria 1, 10125, Torino

<sup>2</sup> Regione Piemonte - Phytosanitary Sector, via Livorno 60, 10144, Torino

<sup>3</sup> University of Torino - Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, Largo Braccini 2, 10095, Grugliasco (TO)

\*[valentina.andreoli@unito.it](mailto:valentina.andreoli@unito.it)

### Abstract

The crop growth model IVINE (Italian Vineyard Integrated Numerical model for Estimating physiological values) was developed to simulate grapevine phenological and physiological processes and it was originally optimized only for cv. Nebbiolo. The IVINE model requires a set of meteorological data as boundary conditions, moreover informations about the vineyard and the cultivar are also required as input data. The main model outputs are: the timing of phenological stages, the leaf development, the yield, the berry sugar concentration and the predawn leaf water potential.

Recently IVINE model has been calibrated and validated also on different grapevine varieties (cv. Barbera, cv. Merlot). We will present here the results of these preliminary simulations of grapevine growth processes executed using datasets assembled in the frame of MACSUR2 project.

### Parole chiave

modello di crescita, vite, taratura

### Keywords

crop model, grapevine, calibration

### Introduction

Meteorology, climate, soil fertility and management practices are factors that influence the quality and productivity of grapevine, strongly dependent on environmental conditions.

For this reason oenology and viticulture have been object of many studies aimed to know the effects of different environmental conditions on yield and quality.

In this context, crop models are essential tools for investigating the effects of climate change on crop development and growth by means of the integration of existing knowledge of crop physiology relating to different environmental conditions.

Crop growth models are able to evaluate interactions between plant, environment and management strategies and provide an instrument to understand the complex plant processes as influenced by pedo-climatic and management conditions (Brisson et al., 1998, Brisson et al., 2003, Costa et al., 2015). Weather conditions are the input data that drive the crop models and they have a great effect on yield and other model outputs.

A crop growth model named IVINE (Italian Vineyards Integrated Numerical model for Estimating physiological values), has been developed since 2016 to simulate physiological and phenological vine conditions of Nebbiolo cv, since in Piedmont the most famous wines are derived by

this kind of grape (Andreoli et al., 2019). Recently the IVINE model has been also calibrated on different grapevine varieties as Barbera cv. and Merlot cv. The paper is focused on the results of these preliminary simulations.

### Materials and Methods

The IVINE model is a crop model developed to study the vine growth processes under different environmental conditions.

The model need as boundary conditions a set of weather data: air temperature, air relative humidity, solar global radiation, photosynthetically active radiation, soil temperature, soil water content, wind speed and direction, rainfall and leaf wetness.

Other data about vineyards and soil characteristics are required in input: geographic coordinates, soil hydrology, variety characteristics and vineyard management informations.

IVINE operates on a daily time step and simulates the evolution of variables of agronomic interest through daily accumulation.

The main model outputs are: the timing of the main phenological phases, the leaf development, the yield and the sugar concentration, and the predawn leaf water potential.

The input datasets used for simulations on Barbera and Merlot have been assembled in the frame of the MACSUR project (phase 2) (Brouwer and Köchy, 2017). Meteorological data for Barbera cv. have been taken in two vineyards located in Cocconato (45° 05' 20" N, 8° 02' 26" E, 311 m a.s.l.) and Fubine sites (44° 57' 49" N, 8° 25' 52" E, 210 m a.s.l.), in Piedmont region, from 2008 to 2010 season. Instead those for Merlot cv. the data have been taken in a vineyard located in Couhins (44.75° N, 0.56° W, 23 m a.s.l.) in France, for 2004 and 2005 seasons. The type of soil is silty clay loam in Cocconato, clay loam in Fubine and loam in Couhins.

The meteorological databases assembled in the vineyards stations have been used as input data for the run of the land surface model UTOPIA (University of Torino model of land Process Interaction with Atmosphere) (Cassardo, 2015). IVINE input data of soil temperature and soil water content were taken from the output of UTOPIA model while others input data were directly taken from the meteorological datasets.

An intercomparison between simulated data and in-field measured data, phenological phase and some physiological variables, has been done, with the specific aim of calibrate and validate the model on Barbera and Merlot varieties.

## Results and Discussion

This section contains some preliminary results of the simulations performed on Barbera cv. since 2008 to 2010 season, in Cocconato and Fubine sites, and Merlot cv. in 2004 and 2005 seasons, in Couhins site. Moreover the results of the intercomparison between simulated and measured data are presented.

The main output variables analyzed are the phenological phases and the berry sugar concentration.

*Tab. 1 – Intercomparison of simulated and measured BBCH stages in Cocconato site.*

*Tab. 1 – Confronto fra stadi BBCH simulati e misurati a Cocconato.*

Phenological Stage	Year	Simulated Julian day	Simulated BBCH	Measured Julian day	Measured BBCH
Bud-break	2008	92	7	122	15
	2009	98		92	7
	2010	110		138	15
Flowering	2008	162	65	150	61
	2009	149		145	63
	2010	159		154	60
Fruit-set	2008	167	71	202	77
	2009	154		191	75
	2010	163		176	75
Beginning of ripening	2008	230	81	223	79
	2009	217		202	77
	2010	225		209	79
Veraison	2008	236	83	244	83
	2009	222			
	2010	232			

The phenological phases have been simulated in all three sites; the simulations return the dates in which a specific BBCH stage occurred (Tabs. 1,2,3); instead observations performed in the experimental sites report the BBCH stage achieved at the date of the survey. Sometimes the achieved stage was not in the list of those calculated by the model, making difficult a direct comparison.

Regarding the stage of harvest, the IVINE model simulates it when a specific concentration of berry sugar has been reached; the values are 26 °Bx for Barbera and 24 °Bx for Merlot (Cressano et al., 2008).

In Cocconato site is evident an anticipation of the Julian day of simulated fruit-set stage particularly during the 2008 and 2009 vegetative seasons, and of veraison stage during the 2008 season (Tab. 1).

*Tab. 2 – Intercomparison of simulated and measured BBCH stages in Fubine site.*

*Tab. 2 – Confronto fra stadi BBCH simulati e misurati a Fubine.*

Phenological Stage	Year	Simulated Julian day	Simulated BBCH	Measured Julian day	Measured BBCH
Bud-break	2008	91	7	120	16
	2009	97		105	12 – 13
	2010	109			
Flowering	2008	160	65	142	57
	2009	147		138	113 – 55
	2010	157			
Fruit-set	2008	165	71	171	71-73
	2009	152		159	73-75
	2010	161			
Beginning of ripening	2008	227	81	214	79
	2009	214		208	81
	2010	221			
Veraison	2008	233	83		
	2009	219		225	83
	2010	227			

*Tab. 3 – Intercomparison of simulated and measured BBCH stages in Couhins site.*

*Tab. 3 – Confronto fra stadi BBCH simulati e misurati a Couhins.*

Phenological Stage	Year	Simulated Julian day	Simulated BBCH	Measured Julian day	Measured BBCH
Bud-break	2004	108	7	114	7
	2005	104		108	7
Flowering	2004	160	65	157	65
	2005	153		152	65
Fruit-set	2004	163	71		
	2005	158			
Beginning of ripening	2004	230	81		
	2005	219			
Veraison	2004	233	83		83
	2005	222		220	83

Also in Fubine site there is a slight anticipation of Julian day of simulated stages of fruit-set (2008 season) and veraison (2009 season), and a delay of beginning of ripening simulated stage during 2008 and 2009 seasons (Tab. 2).

Regarding the simulations of phenological stages in Couhins site, a slight anticipation of bud-break simulated stage can be observed during the two analyzed seasons (Tab. 3); while for the other analyzed BBCH stages measured and simulated Julian days are quite close.

Regarding the berry sugar concentration, the trend simulated by the model is well reproduced during the whole season and in all three sites (Figs. 1,2,3).

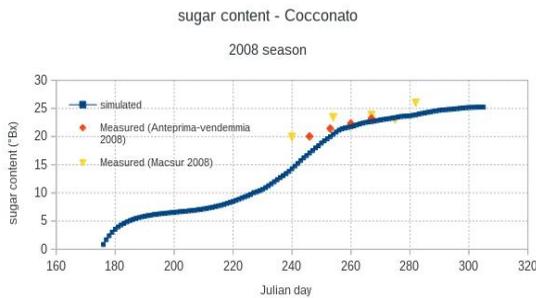


Fig. 1- Comparison between simulated and measured berry sugar content at Cocconato site, during the 2008 vegetative season for Barbera cv.

Fig. 1 – Confronto fra valori di concentrazione di zucchero degli acini simulati e misurati a Cocconato, nella stagione vegetativa 2008 per la varietà Barbera.

Fig. 1 shows the simulated values of berry sugar concentration in Cocconato site, compared with values measured during the MACSUR experimental campaign and with values measured in some reference vineyards in Piedmont region (Cressano 2008). The simulated berry sugar content resulted close to the in-field measured values in the final part of the season while in the central part it was underestimated.

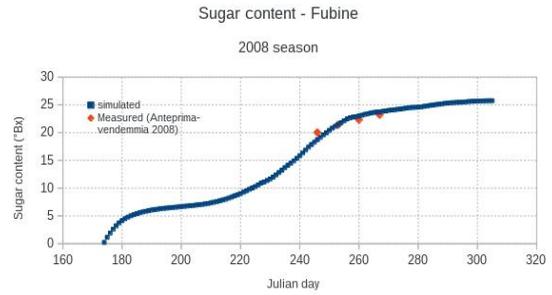


Fig. 2- Comparison between simulated and measured berry sugar content at Fubine site, during the 2008 vegetative season for Barbera cv.

Fig. 2 – Confronto fra valori di concentrazione di zucchero degli acini simulati e misurati a Fubine, nella stagione vegetativa 2008 per la varietà Barbera.

In Fubine site the comparison has been done between simulated values and measurements performed in the references vineyards in Piedmont region (Fig. 2) (Cressano 2008). Simulated and measured values resulted to be close and the trend was well reproduced.

In Fig. 3 are shown the results of the simulation of berry sugar content in Couhins site (France), where the two considered vegetative seasons have been compared. The graph clearly shows that the IVINE model was able to simulate the different evolution of sugar accumulation, depending on season meteorological conditions.

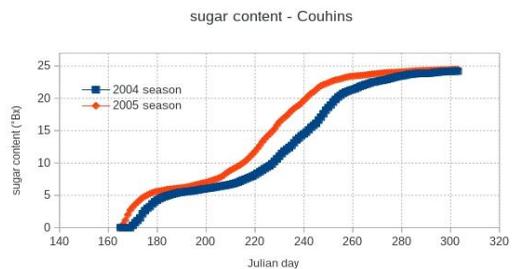


Fig. 3- Comparison between simulated berry sugar content during 2004 and 2005 vegetative seasons at Couhins site for Merlot cv.

Fig. 3 – Confronto fra i valori di concentrazione di zucchero dell'acino simulati durante le stagioni vegetative 2004 e 2005 a Couhins per la varietà Merlot.

Similar analyses carried out on other model outputs, as yield and leaf area index, are not shown in the present paper.

## Conclusions

The crop growth model IVINE, originally developed for Nebbiolo variety, has been calibrated for Barbera cv and Merlot cv.

The results of some of the preliminary simulations and of some intercomparison between simulated and measured data have been here presented.

The IVINE model seemed able to represent the evolution of growth processes in these two varieties. Eventual other available measured data collected in different vegetative season or in different sites could improve the calibration of the model and allow an higher accuracy on model outputs.

## References

- Andreoli V. et al., 2019. Description and preliminary simulation with the Italian Vineyard Integrated Numerical Model for Estimating physiological values (IVINE). *Agronomy* 9: 94.
- Brisson N. et al., 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18: 311-346.
- Brisson N. et al., 2003. An overview of the crop model STICS. *Europ. J. Agronomy* 18: 309-332.
- Brouwer, Floor; Köchy, Martin. Macsur - Second Phase Report. *Facce Macsur Reports*, [S.l.], V. 11, P. H0.2-M4, Nov. 2017. Available at: <https://ojs.macsur.eu/index.php/Reports/article/view/H0.2-M4>. Date Accessed: 08 May 2019.
- Costa R. et al., 2015. Application of crop modelling to portuguese viticulture: implementation and added values for strategic planning. *Cienc. Tec. Vitiv.* 30: 29-42.
- Cressano G. et al., 2008. Il controllo della maturazione dell'uva – anteprima vendemmia 2008.

# OPERATIONAL SYSTEM FOR SNOW/ICE COVER MAPPING AT REGIONAL TO CONTINENTAL SPATIAL EXTENTS FROM MULTI-SOURCE SPACEBORNE MULTI-SPECTRAL IMAGERY

## PROCEDURE OPERATIVE PER L'INDIVIDUAZIONE AUTOMATICA IN TEMPO REALE DEL MANTO NEVOSO DA IMMAGINI SATELLITARI MULTI-SENSORE A SCALA REGIONALE FINO A SCALA CONTINENTALE

Andrea Spisni<sup>1\*</sup>, Andrea Baraldi<sup>2</sup>, Luca D. Sapia<sup>1</sup>, Efthymia Chatzidaki<sup>3</sup>, Antonio Volta<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Struttura Idro-Meteo-Clima, Agenzia Regionale Prevenzione, Ambiente ed Energia dell'Emilia-Romagna

<sup>2</sup> Unità Coordinamento Tecnico Scientifico, Agenzia Spaziale Italiana

<sup>3</sup> Centro Interdipartimentale di Ricerca per l'Energia e l'Ambiente, Università degli Studi di Parma

<sup>4</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università degli Studi di Bologna

\*[aspisni@arpae.it](mailto:aspisni@arpae.it)

### Abstract

Snow cover, glaciers caps and ice sheets are among the so-called Essential Climate Variables (ECVs). Snow is an important source of groundwater recharge. Snow cover detection is relevant for weather alert procedures by the Civil Protection to prevent hydrogeological risks. This paper presents a “universal” computer vision approach for automatic near real-time detection of a snow/ice cover in multi-source spaceborne multi-spectral imagery featuring no radiometric calibration.

### Parole chiave

Big data, copertura nevosa, intelligenza artificiale, telerilevamento, Variabili Climatiche Essenziali, visione artificiale

### Keywords

Artificial intelligence, big data, computer vision, Essential Climate Variables, snow cover, remote sensing.

### Introduction

Snow cover, glaciers caps and ice sheets are among the Essential Climate Variables (ECVs) defined by the World Climate Organization (WCO) (Bojinski *et al.*, 2014). Working as water accumulation factor in case of rain, snow is an important source of groundwater recharge. From 2005 to 2018, to systematically deliver snow/ice cover maps at regional scale in compliance with Civil Protection alert zones, Arpae Emilia-Romagna developed in-house a sensor-specific per-pixel (spatial context-insensitive) prior spectral knowledge-based (deductive) decision-tree classifier for snow detection in MODIS L1B (MOD02HKM) images required to be cloud-free, acquired by the TERRA satellite and distributed free-of-cost via NASA ftp with a time delay of 12-24 h from data acquisition. This production system was affected by two major operational drawbacks: a timeliness of 12-24 h from data acquisition to product generation/dissemination and a lack of transferability to other spaceborne multi-spectral (MS) imaging sensors. By now, in the era of ESA Copernicus Program and Space Economy 4.0, there is a plethora of spaceborne earth observation (EO) imaging sensors featuring free-of-cost near real-time EO big data availability and accessibility. Data *Availability* and *Accessibility*, together with *Suitability* [9], are necessary-but-not-sufficient pre-conditions for developing rapid response capabilities in compliance with the institutional goals of the Civil Protection. In addition, to cope with the five Vs characterizing EO big data, specifically, variety, volume, veracity, velocity and value (IBM, 2016 and Yang *et al.*, 2017), artificial intelligence (AI) capabilities become mandatory. Synonym for big data analytics, AI is *part-of*

the multidisciplinary domain of cognitive science and *superset-of* computer vision (CV), where vision is as an inherently ill-posed cognitive problem whose goal is scene-from-image reconstruction and understanding. Since 2018, Arpae Emilia-Romagna has been developing and testing a novel CV system design, algorithm and implementation capable of systematic EO data-derived snow cover mapping. The proposed CV system architecture includes four CV sub-systems for EO image pre-processing and understanding, summarized as follows: (1) Self-organizing color constancy of radiometrically uncalibrated MS imagery (Baraldiet *al.* 2017), (2) RGB Image Automatic Mapper (RGBIAM<sup>TM</sup>) for prior knowledge-based color naming (Berlin and Kay, 1969) in a true- or false-color RGB image pre-submitted to color constancy (Baraldiet *al.* 2017), (3) Radiometric calibration of digital numbers (DNs) into top-of-atmosphere reflectance (TOARF) values, when image metadata calibration parameters are available, (4) Satellite Image Automatic Mapper (SIAM<sup>TM</sup>) (Baraldiet *al.* 2006, 2018) for prior knowledge-based color naming (Berlin and Kay, 1969) in a MS image radiometrically calibrated into TOARF or surface reflectance values [1].

According to a minimally dependent and maximally informative (mDMI) set of outcome and process quantitative quality indicators (OP-Q<sup>2</sup>Is) (Baraldiet *al.*, 2018), the proposed hybrid (combined deductive/top-down and inductive/bottom-up) CV approach scores as follows. It is: (i) fully automated, requiring no human-machine interaction; (ii) efficient, with computational complexity increasing linearly with image size; (iii) robust to changes in input data acquired across time and space; (iv) scalable to multiple imaging sensors, where a Medium InfraRed

(MIR) channel is highly recommended for snow cover detection. (v) Its timeliness, from data acquisition to information product generation, is low. (vi) Its costs in manpower and computer power are low. Eligible to run in parallel for convergence-of-color-evidence, the RGBIAM and SIAM expert systems convert a numeric sub-symbolic color variable into a categorical (nominal) non-ordinal variable, specifically, into a discrete and finite vocabulary of semi-symbolic color names corresponding to (hyper)polyhedra in a mutually exclusive and totally exhaustive partition of a MS data (hyper)cube. It is obvious, but not trivial to observe that semi-symbolic color names are attributes of symbolic classes of real-world objects in a mental model of the scene-domain (world model, world ontology). It means that a vocabulary A of color names should never be confused with a taxonomy B of target classes of real-world objects, such as land cover classes. Rather, in the (4D space-time) scene-domain, a binary relationship,  $R: A \Rightarrow B$ , from a categorical variable A of color names and a taxonomy B of target classes of real-world objects is easy to be agreed-upon by human domain-experts. Projected onto the (2D) image-domain through an imaging sensor transfer function, binary relationship  $R: A \Rightarrow B$  provides a CV system with *a priori* knowledge, available in addition to data and required to make an inherently ill-posed scene-from-image reconstruction and understanding task better posed for numerical solution, in agreement with a Bayesian approach to CV (Marr, 1982).

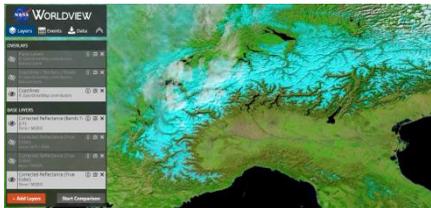


Fig. 1 - The NasaWorldView website, the snow appears cyan (Modis Terra 12/03/2019, Northern Italy).

Fig. 1 - Sito Nasa WorldView, la neve appare di colore ciano (Modis Terra 12/03/2019, Nord Italia).

In the NASA Worldviewwebsite, see Fig. 1, a quicklook EO image is an uncalibrated true- or false-color RGB image typically available for download in a geotiff file format one hour from data acquisition. Considered valuable because available real-time, but scoring “low” in radiometric quality, such an input image can be coped with by a two-stage CV system consisting of a color constancy first stage and an RGBIAM second stage. This pair of CV modules is suitable for timely snow cover mapping, at either regional, national or continental scale, based on an exclusive (one-of-a-kind) binary relationship between color names and the snow/ice cover target. Unlike RGBIAM, SIAM requires radiometrically calibrated MS data as input for color naming. Typically, radiometrically calibrated MS images are made available by EO data providers within 24 hours from data acquisition. This timeliness makes SIAM eligible for off-line snow monitoring tasks, such as climate change studies. On the other hand, SIAM discriminates among MS

signatures, sampled up to seven (Landsat-like) wavelengths, based on their combined multi-variate shape and multi-variate intensity information components. As a consequence, when employed in color naming for snow detection tasks, the (up to) 7-band “calibrated” SIAM is typically more discriminative (informative) and robust to changes in input data than the 3-band “uncalibrated” RGBIAM. Among available spaceborne MS imaging sensors which are accessible free-of-cost, the geostationary Meteosat sensor series, whose time resolution is 15 minutes at the cost of a “coarse” 3 km spatial resolution, can be considered suitable for real-time snow detection, but too coarse for snow mapping at regional scale. When snow cover map generation and dissemination are required at fine temporal resolution, such as when cloud perturbations are oncoming, then the RGBIAM mapping of georeferenced quicklook RGB images available free-of-cost and near real-time in the internet appears as a reasonable trade-off between costs, timeliness and accuracy.

*Tab.1 – Spaceborne MS imagery available free-of-cost to accomplish automatic snow cover mapping.*

*Tab.1 - Immagini MS acquisite da piattaforme satellitari distribuite gratuitamente e che possono essere utilizzate per l'individuazione automatica della copertura nevosa.*

Satellite	Sensor	Spatial resolution	Temporal resolution
Meteosat Second Generation	Seviri	4 km	every 15 minutes
Metop	Avhrr/3	1 km	every days
Terra / Aqua	Modis	500 km	every days
Suomi	Npp	375 m	every days
Sentinel 3 A+B	SLSTR	500 m	every days
Sentinel 2 A+B	MSI	10 (20) m	every 5 days
Landsat 7	ETM+	30 m	every 14 days
Landsat 8	OLI	30 m	every 14 days

## Materials and Methods

In the Nasa Worldview website [2], where different satellite/sensor configurations can be user-selected, see Fig. 1, a spacebornequicklook MS image can be downloaded in the geotiff file format either by means of a screenshot capturing tool or by accessing another web page where a so-called Rapid Response subset can be selected [4]: for example, the Italy subset is called Poplex [5], while the Northern Italy subset is called Ispra [6]. Next, the user can select the pixel spatial resolution, e.g., 250 m or 500 m for Modis imagery. To detect snow in a quicklook EO uncalibrated monitor-typical RGB image, the following EO imaging sensor’s spectral channel selection criteria are recommended as the most informative in colorimetry (statistically, inter-band Pearson’s cross-correlation tends to stay “low”): band R = MIR channel, centered at either 1.6 or 2.2  $\mu\text{m}$ , band G = Near-InfraRed (NIR) channel, e.g., centered around 0.85  $\mu\text{m}$ , and band B = any visible channel, e.g., visible Red, less affected than visible Blue by atmospheric effects. In MIR channels, snow and ice surface reflectance is very low. It means that spectral confusion between ground-level snow/ice and ice clouds (typically, cirrus) must be coped with by a structured (modular and hierarchical) CV system, e.g., by exploiting the so-called cirrus channel, centered around 1.360–1.390  $\mu\text{m}$ , if any.

Another source of near real-time EO imagery is the Eumetsat website [3], where quicklookMeteosat RGB images can be downloaded in the geotiff file format in agreement with the aforementioned spectral channel selection criteria. Table 1 summarizes spaceborne low, medium and high spatial resolution MS imaging sensors freely available to cope with automatic snow cover mapping.

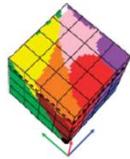


Fig. 2 - Unlike a MS reflectance space hyperpolyhedralization, which is difficult to think of and impossible to visualize when the number of channels is superior to three, an RGB data cube polyhedralization is intuitive to think of and straightforward to display. For example, based on psychophysical evidence, the eleven human basic color (BC) names (white, black, pink, red, blue, etc.) identified by linguistics (Berlin and Kay, 1969) can be mapped onto a monitor-typical RGB data cube (Griffin, 2006).

Fig. 2 - A differenza di un iperspazio di colori a più di tre dimensioni spettrali, impossibile da visualizzare e difficile da immaginare, la poliedralizzazione di uno spazio dei colori RGB negli 11 colori di base individuati dalla linguistica (Berlin and Kay, 1969) e' intuitiva e facile da visualizzare (Griffin, 2006).

At the low-level (pre-attentive) vision phase (Marr, 1982), the RGBIAM software toolbox for well-posed (deterministic) RGB color space polyhedralization into color names (Fig. 2) can be input with any RGB image, either uncalibrated or calibrated, true- or false-color, spaceborne, airborne or terrestrial. Nevertheless, to guarantee "data regularization (constancy)", this input RGB image should always be pre-processed (enhanced) by the self-organizing color constancy algorithm before running RGBIAM. In more detail, the RGBIAM software design consists of four sub-systems: (i) a first-stage expert system (prior knowledge-based decision tree) for RGB color naming, implemented in the IDL programming language suitable for fast prototyping; (ii) a second-stage well-posed (deterministic, parameter-free) two-pass connected-component multi-level image labeling algorithm for superpixel detection, where each superpixel is a connected set of pixels featuring the same color name; (iii) a third-stage piecewise-constant image approximation (object-mean view) of the input image, for image synthesis/reconstruction; and (iv) a vector quantization (VQ) error assessment, calculated pixel-wise as a root mean square error (RMSE) between the input image and the reconstructed image. RGBIAM provides as output two multi-level maps of color names whose standard vocabulary consists of, 50 color names (49 + no data) and 12 color names (11 basic color names + no data), in line with seminal works in linguistics where 11 basic color (BC) names were identified in human languages (Berlin and Kay,

1969). The Arpa workflow for fast-response snow cover mapping is as follows: (1) Select and download a quicklook false-color RGB image from any available web site, see Table 1; (2) RGB image file conversion, from geotiff to ENVI/IDL; (3) Run the self-organizing color constancy algorithm; (4) Run the multi-stage RGBIAM software toolbox; (5) From the RGBIAM output color map featuring 50 color names, select color names coded as 18 (in binary relationship with snow) and 19 (in binary relationship with mixed pixels, such as shallow water in coastal areas or shadowed snow); (6) Removal of snow false positives such as ice clouds and some coastal areas; (7) Zonal (stratified in space) statistical estimate of snow extents according to Civil Protection alert zones. In line with theoretical expectations, this automated CV system for snow detection in quicklook RGB imagery can be affected by relevant misclassification phenomena when ice clouds are depicted, see Fig. 3. If no hierarchical CV strategy is adopted for ice cloud masking, then an RGB image affected by ice clouds should be discarded from input.



Fig. 3 - Ice clouds requires attention to avoid confusion with ground-level snow/ice. Snow/ice appears cyan (Modis Terra 12/03/2019, Central Italy).

Fig. 3 - Nubi di ghiaccio richiedono attenzione per evitare confusione con neve/ghiaccio a terra. Neve e ghiaccio appaiono in ciano (Modis Terra 12/03/2019, Italia centrale).



Fig. 4 - Sequence (from left): numerical image (snow appears cyan); RGBIAM output map; final snow cover map (Modis Terra 06/02/2019, Emilia-Romagna).

Fig. 4 - Sequenza (da sinistra): immagine numerica (la neve appare in ciano); mappa RGBIAM; estrazione copertura nevosa (Modis Terra 06/02/2019, Emilia-Romagna).

## Results and Discussion

Fig. 4 shows, from left to right, a quicklook Modis Terra false-color RGB image, an RGBIAM output map of color names depicted in pseudo-colors and the final snow cover map. Accuracy in snow detection is "high", together with robustness in processing any source of calibrated or uncalibrated EO image automatically (without human-machine interaction) and in near real-time. Black polygons represent Civil Protection alert zones. It is worth

mentioning that the RGBIAM discretization of numeric color values into a categorical variable of color names is not only useful for image classification (understanding) purposes, whose output categorical variable is semantic, but also for generating as output value-adding numeric variables, such as image mosaics and/or image composites. Alternative to traditional driven without prior knowledge image mosaicking/compositing based on heuristic numerical criteria, a stratified (class conditional, driven by prior knowledge) image mosaicking / compositing strategy, where prior knowledge are color names, can eliminate or reduce image-boundary (stitching) effects to produce as output a seamless multi-image product.

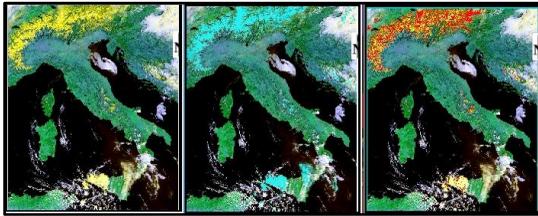


Fig. 5 - Sequence (from left): quicklook (snow yellow); overlaid with the RGBIAM color name 18 (cyan); overlaid with the supervised SAM classification layer snow depicted by a red pseudo-color.

Fig. 5 - Sequenza (da sinistra): immagine numerica (neve gialla); sovrapposizione con il nome di colore 18 di RGBIAM in ciano; sovrapposizione con classe neve in rosso da classificatore SAM.

Fig. 5 shows a visual comparison between snow cover maps generated from the RGBIAM output map of color names and a standard supervised pixel-based classifier, such as the Spectral Angle Mapper (SAM). The left image shows a numeric quicklook RGB image (RGB: 0.6-0.9-2.2  $\mu\text{m}$  Modis Terra 03/03/2019), where snow appears yellow. The central image shows the RGBIAM output map where color name 18, depicted as cyan, perfectly overlaps with yellow pixels in the left image, including those belonging to ice clouds located over Sicily. The right image shows the SAM classification map where the snow layer adopts a red pseudo-color; snow pixels looking yellow are still visible, i.e., they are not matched by the snow layer detected by SAM. In an mDMI set of OP-Q<sup>2</sup>I values, the supervised SAM classifier is semi-automatic, it scores “low” in timeliness because it requires supervised data selection for training, “low” in scalability to changes in sensor specifications because it is data-dependent, it costs “high” in man power, etc. As reported in the previous Section, the proposed RGBIAM-based snow cover detector is affected by false positives if ice clouds and/or coastal shallow waters are depicted in the input quicklook RGB image. The first misclassification cause is very difficult to cope with based on spectral properties exclusively. It is well known that spectral signatures of terrestrial snow/ice and ice clouds can be very similar [7]. Ice tends to look darker than snow (Liang, 2004), while the snow spectral signature is monotonically decreasing with the size of snow grains: smaller flakes, like fresh winter snow (about 0.05 mm),

have greater reflectance than larger flakes (spring snow, about 1 mm) (Rees, 2006). An alternative CV strategy should mask clouds and cloud-shadows based on converging color with spatial evidence (Baraldi and Tiede, 2018). In vision, spatial information dominates color information. For example, humans wear sunglasses because their panchromatic and chromatic vision systems are nearly as effective. In the image-domain, spatial information encompasses image-object shape and size, texture (perceptual spatial grouping of texture elements, texels), and inter-object spatial relationships, either topological or non-topological.

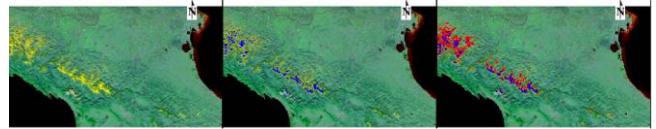


Fig. 6 - Sequence (from left) Modis Terra 06/02/2019: numerical image ; image overlaid with the RGBIAM color name 18 (typical of snow or ice) in blue; image overlaid with the RGBIAM color names 18 (typical of snow or ice) in blue or 19 (typical of mixed pixels) in red.

Fig. 6 - Sequenza (da sinistra) Modis Terra 06/02/2019: immagine numerica; sovrapposizione con il nome di colore RGBIAM 18 (tipico di neve e ghiaccio) in blu; sovrapposizione con la classe 18 di RGBIAM in blu e la 19 (tipico di pixel misti) in rosso.

The previous Section also reported that 2-out-of-50 RGBIAM color names localize candidate areas for snow: color label 18, whose binary relationship holds with snow or ice pixels, and color label 19, which is typical of mixed pixels, including snow in shadow or shallow coastal water. Fig. 6 shows these two sources of snow false positives due to shared color evidence. The left image is a quicklook Modis where snow appears yellow. In the central image, the left image is overlaid with the RGBIAM color name 18 in pseudo-color blue: a portion of snow pixels looking yellow remains visible. The right image shows the left image overlaid with the RGBIAM color names 18 or 19, depicted by pseudo-colors blue and red respectively: snow pixels are masked out by the two color names. In mountainous areas, mixed woodland and snow pixels belong to color name 19. At the same time, some coastal pixels with shallow water along the river Po delta are misclassified as snow. Suitable for snow mapping at national or continental spatial extents, possible strategies to reduce these snow false positives are: (i) if available as prior knowledge, employ coastline database to mask out coastal areas; (ii) conservative detection of snow by the sole color name 18, instead of color names 18 or 19.

## Conclusions

In the notion of Space Economy 4.0 (Mazzucato and Robinson, 2017), ongoing challenges include capture, storage, sharing, transfer, analysis and visualization of EO big data cubes, characterized by the five Vs of volume, variety, velocity, veracity and value (IBM, 2106 and Yang *et al.*, 2017). In his seminal work, Marr stated that “vision

goes symbolic almost immediately, right at the level of zero crossing (first-stage primal sketch), without loss of information” (Marr, 1982). This quote implies that typical EO data end-users at downstream expect value-adding semantic information to be systematically generated at midstream by EO data providers in addition to numeric variables featuring physical units of measure. This is synonym for providing end-users at downstream with so-called analysis ready data (ARD). A possible instantiation of ARD is the ESA EO Level 2 information product which comprises (Baraldi *et al.* 2018, Baraldi and Tiede, 2018): (i) an EO image radiometrically corrected for atmospheric, topographic and adjacency effects, overlapped with (ii) a Scene Classification Map (SCM), whose legend adopts the FAO Land Cover Classification System (LCCS) taxonomy, in addition to quality layers cloud and cloud-shadow. If a CV system is accomplished in operating mode for systematic ESA EO Level 2 SCM generation at midstream, then semantic content-based image retrieval (SCBIR) becomes feasible at the downstream segment (Baraldi *et al.*, 2018). Up until now, SCBIR has never been accomplished because its CV necessary-but-not-sufficient pre condition has never been accomplished either. The proposed CV methodology for real-time snow cover mapping is able to process as input any quicklook EO non-calibrated RGB image (e.g., RGB = spectral channels at 0.6-0.9-1.6/2.2  $\mu\text{m}$ ). On the one hand, this type of EO imagery lacks any physical meaning because its digital numbers (DNs) are provided with no radiometric unit of measure, e.g., surface reflectance. On the other hand, quicklook multi-source EO non-calibrated images are timely available free of cost in the web. Overall, the proposed CV system can be considered “universal”: it is fully automated (requiring no human-machine interaction), its bias (error rate) is “low” and its variance (dependence on input data) is “low”, meaning its transferability/scalability is “high” to cope with changes in imaging sensor specifications. Attention should be spent when ice clouds are depicted in the input quicklook RGB image, which leads to snow false positives. Since 2018, Arpa Emilia-Romagna has been adopting the proposed CV system as production system to automatically detect in near real-time snow cover at regional spatial extents [8].

## References

- Baraldi A., Humber M. L., Tiede D., & Lang S. (2018). GEO-CEOS stage 4 validation of the Satellite Image Automatic Mapper lightweight computer program for ESA Earth observation level 2 product generation - Part 1: Theory. *Cogent Geoscience*, 4(1), 1467357.
- Baraldi A., ..., etc., same as above - Part 2: Validation. *Cogent Geoscience*, 4(1), 1467254.
- Baraldi A., Puzzolo V., Blonda P., Bruzzone L., Tarantino C., 2006, "Automatic spectral rule-based preliminary mapping of calibrated Landsat TM and ETM+ images," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 44, no. 9, pp. 2563-2586
- Baraldi A., Tiede D., 2018, Autocloud+, a “Universal” physical and statistical model-based 2D spatial topology-

preserving software for cloud/cloud-shadow detection in multi-sensor single-date Earth observation multi-spectral imagery - Part 1: systematic ESA EO Level 2 product generation at the ground segment as broad context, *ISPRS Int. J. Geo-Information*, 7, 12, 457.

Baraldi A., ... - Part 2: outcome and process representation, system design, algorithm, implementation and preliminary experimental results, *ISPRS Int. J. Geo-Information*, 7, 12, 457.

Baraldi A., Tiede D., Lang S., 2017, Automated Linear-Time Detection and Quality Assessment of Superpixels in Uncalibrated True- or False-Color RGB Images, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1701/1701.01940.pdf>

Bojinski et al., 2014. The concept of Essential Climate Variables in support of climate research, applications and policy. *American Meteorological Society*, pp. 1431-1443.

IBM, 2016. The Four V’s of Big Data, IBM Big Data & Analytics Hub, <https://goo.gl/vmc97m>

Berlin, B. and Kay, P., 1969. Basic Color Terms: Their Universality and Evolution; University of California: Berkeley, CA, USA.

Griffin, L., 2006. Optimality of the basic color categories for classification. *J. R. Soc. Interface*, 3, 71–85.

Liang S., 2004, Quantitative remote sensing of land surface, John Wiley & Sons Inc

Marr D., 1982, Vision, Freeman and C: New York, NY, USA, 1982.

Mazzucato M., Robinson D., 2017, Market Creation and the European Space Agency. European Space Agency (ESA) Report. Available online: <https://goo.gl/Jrdt9S>

Rees W.G., 2006. Remote sensing of snow and ice, CRC Taylor & Francis Group.

Spisni A., Tomei F., Pignone S., Muzzi E., Panzacchi A., Antolini G., Villani G., Di Lorenzo M., Foraci R., Bittelli M., Brooks E.S., 2011, Snow cover analysis in Emilia-Romagna, *Italian Journal of Remote Sensing*, 43(1):59-73.

Yang, C., Huang, Q., Li, Z., Liu K. & Hu, F., 2017. Big Data and cloud computing: innovation opportunities and challenges, *Int. J. Digital Earth*. 10:1, 13-53.

## Internet references

- [1] Satellite Image Automatic Mapper (SIAM) software toolbox developed by Baraldi Consultancy in Remote Sensing (BACRES, [siam.andreabaraldi.com](http://siam.andreabaraldi.com))
- [2] Nasa Worldview, <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
- [3] Eumetsat geotiff data download, <https://goo.gl/jQhxRw>
- [4] Rapid Response ready to use subsets list available at Nasa Worldview, <https://goo.gl/rFLfEX>
- [5] Rapid Response Italy subset (code name Poplex) Nasa Worldview, <https://goo.gl/Vp2Xq6>
- [6] Rapid Response Northern Italy subset (code name Ispra) Nasa Worldview, <https://goo.gl/x6VuFR>
- [7] Snow and ice spectral signatures, <https://goo.gl/LJqAut>
- [8] Arpa Emilia-Romagna snow cover bulletin web page, <https://goo.gl/HpyoPv>
- [9] Group on Earth Observation / Committee on Earth Observation Satellites (GEO/CEOS), 2010, A Quality

Assurance Framework for Earth Observation, version 4.0,  
<https://goo.gl/8irnsM>

# ANALISI DELLA RIFLETTANZA IPERSPETTRALE DI DUE VARIETÀ ANTICHE DI FRUMENTO SOTTOPOSTE A DIFFERENTI TRATTAMENTI AGRONOMICI

## *HYPERSPECTRAL REFLECTANCE ANALYSIS OF TWO ANCIENT WHEAT VARIETIES GROWN UNDER DIFFERENT AGRONOMIC TREATMENTS*

Marco Mancini<sup>1\*</sup>, Maurizio Pieri<sup>2</sup>, Marco Napoli<sup>1</sup>, Carolina Fabbri<sup>1</sup>, Giada Brandani<sup>3</sup>, Roberto Vivoli<sup>1</sup>, Anna Dalla Marta<sup>1</sup>, Simone Orlandini<sup>1</sup>, Chiara Grassi<sup>3</sup>, Daniele Grifoni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università di Firenze. Piazzale delle Cascine 18, 50144, Firenze. Italia

<sup>2</sup> Istituto di Biometeorologia IBIMET-CNR, Firenze, IT,

<sup>3</sup> Fondazione per il Clima e la Sostenibilità. Via Giovanni Caproni 8, 50144, Firenze, Italia.

\* marco.mancini@unifi.it

### Abstract

The reflectance analysis of vegetation with high spectral resolution allows the use and comparison of multiple vegetation indices. The recently launched PRISMA satellite (Hyper-spectral precursor of the application mission) will allow widespread hyperspectral monitoring. In this perspective, an experimental field was set up with two old varieties of wheat subjected to different agronomic treatments. On each treatment reflectance measurements were made with the FieldSpec-Pro instrument. At the same time, destructive surveys were carried out on the aerial biomass of vegetation in order to determine the vegetation indicators. The hyperspectral data were used to determine the main vegetation indexes used in the literature. The comparison between measured vegetation indicators and remotely sensed vegetation indexes made it possible to assess the latter's performance.

### Parole chiave

Iperspettrale, frumento antico, PRISMA, FieldSpec-Pro.

### Keywords

Hyperspectral, ancient wheat, PRISMA, FieldSpec-Pro.

### Introduzione

Il monitoraggio remoto delle colture consente di individuare con buona attendibilità molteplici indicatori del loro stato vegetazionale e produttivo, quali il LAI, la sostanza secca della biomassa aerea, la quantità di azoto presente nella vegetazione, la produttività primaria lorda e netta, alcuni parametri qualitativi, ecc. Molti sono gli indici basati sulla risposta radiometrica della coltura e su quella di altri elementi ambientali quali il suolo o la trasparenza dell'atmosfera, proposti negli anni. Le bande spettrali utilizzate per calcolare questi indici sono generalmente comprese nel visibile e nel vicino infrarosso e sfruttano le differenze di riflettanza legate all'assorbimento dei pigmenti fotosintetici (Basso et al., 2004; Spisni et al., 2012). Le relazioni fra indici telerilevati e indicatori vegetazionali e produttivi sono state molto studiate nel frumento in particolare ai fini di valutare la variabilità spaziale della coltura (Orlandini et al., 2011; Orlando et al., 2015; Dalla Marta et al., 2015) e l'efficacia dell'applicazione di particolari tecniche agronomiche, in particolare della fertilizzazione azotata (Stone et al., 1996; Yao et al., 2013).

L'analisi iperspettrale consente il calcolo dei differenti indici, anche con calibrazioni sulle specifiche bande utilizzate da satelliti e strumenti multispettrali (Yao et al., 2010; Ecartot et al., 2013; Yao et al., 2014).

Gli obiettivi del presente lavoro sono:

- comparare alcuni indici vegetazionali, utilizzati nel monitoraggio remoto, calcolati con le specifiche bande di satelliti e strumenti commerciali;
- valutare la capacità descrittiva di alcuni indici telerilevati nei confronti di due frumenti antichi, sottoposti a differenti trattamenti agronomici.

### Materiali e Metodi

Per lo svolgimento delle misure è stato allestito, nella campagna cerealicola 2017-2018, un campo sperimentale ove alla coltivazione di frumento tenero sono stati applicati differenti trattamenti agronomici. L'esperimento è stato condotto presso l'azienda cerealicola Chiarion a Monteroni d'Arbia (Siena), su una superficie di circa 2 ettari. Tutte le operazioni colturali sono state eseguite secondo la tecnica agronomica adottata dall'azienda: aratura e erpicatura per la preparazione del letto di semina, semina a file, concimazione alla semina fatta con fosfato biammonico, un diserbo ed un trattamento fitosanitario in copertura. I trattamenti sono stati differenziati per:

- due varietà "antiche", il Sieve e l'Andriolo, con aristatura e portamento molto differenti fra loro ed entrambe caratterizzate da maggiore altezza e biomassa aerea rispetto ai grani moderni;
- tre livelli di fertilizzazione azotata, pari a 35, 85 e 135 kg ha<sup>-1</sup> distribuito in maniera differenziata nelle due fertilizzazioni di copertura;
- due densità di semina, pari a 90 e 180 kg ha<sup>-1</sup>.

In totale sono state ottenute 12 parcelle dell'estensione di circa 1600 m<sup>2</sup> ciascuna.

La fase fenologica osservata al momento dei rilievi era quella della maturazione acquosa secondo la scala BBCH, con la fase di antesi appena conclusa.

Le misure di riflettanza sono state eseguite il 25 maggio 2018 dalle ore 12:50 alle 14:30, mediante lo spettroradiometro portatile ASD FieldSpec-Pro FR. Lo spettroradiometro FieldSpec-Pro FR è in grado di acquisire l'energia radiante nel campo spettrale 350-2500 nm mediante tre diversi spettrometri: VNIR (350-1050 nm), SWIR1 (900-1850 nm) e SWIR2 (1700-2500 nm). Il numero delle bande dello strumento è 2151.

Le misure in campo sono state eseguite puntando il sensore, avente un campo di vista di 25 gradi, in posizione nadirale sopra il campione di frumento da esaminare, ad una distanza di circa 100 cm dalla sommità della vegetazione.

In ogni singola parcella sono stati eseguiti 5 rilievi, in un'area limitata di pochi m<sup>2</sup>, e il loro valore è stato poi mediato al fine di descrivere il peculiare comportamento spettrale di ciascun trattamento. All'interno di quest'area è stato poi eseguito, contestualmente alle misure di riflettanza, un campionamento finalizzato alla misurazione di alcuni parametri della biomassa aerea: peso secco e contenuto in CHN. Sempre all'interno dell'area di misurazione è stato eseguito un secondo rilievo alla raccolta, volto alla determinazione del peso secco della granella e della paglia e del loro contenuto in CHN.

### Indici di vegetazione

La riflettività della vegetazione misurata con il FieldSpec viene utilizzata per calcolare indici di vegetazione che in generale rilevano la presenza e lo stato di salute della vegetazione (Bannari et al., 1995).

Questi indici si basano sul confronto fra l'elevata riflessione della vegetazione nel campo dell'infrarosso vicino rispetto a quella nel campo del visibile dove si osserva un picco di assorbimento più o meno elevato (nel blu e nel rosso) a seconda della concentrazione di clorofilla (Kamenova et al., 2017).

In questo lavoro sono stati confrontati alcuni indici di vegetazione spesso usati nello studio delle colture cerealicole. In particolare sono stati considerati i seguenti indici:

- NDVI di Tucker (1979) (Normalized Difference Vegetation Index) definito come rapporto fra la differenza della banda dell'infrarosso vicino (NIR=830 nm) con la banda del rosso (R=660 nm) rispetto alla somma delle riflessioni in queste due bande ( $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$ ). Il valore dell'indice NDVI varia fra -1 e 1.
- NDVI-GS che si distingue dal precedente in quanto basato su ampiezze di banda infrarosso (770-790 nm) e rosso (660-680 nm) usate dal sensore Green-Seker, uno strumento commerciale frequentemente usato per le misure di NDVI in campo.
- MSR (Modified Simple Ratio) che è una modifica dell'indice derivato dal semplice rapporto fra la riflettività

(R) misurata nell'infrarosso e nel rosso. In particolare, Haboudane et al. (2004) definiscono l'indice MSR come il seguente rapporto:  $(R_{800}/R_{670} - 1)/(R_{800}/R_{670} + 1)^{1/2}$ .

- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) inizialmente definito da Huete (1988) che è un indice volto a minimizzare l'influenza della riflessione del suolo. La formula usata è la seguente:  $1.5 * (R_{830} - R_{660}) / ((R_{830} + R_{660}) + 0.5)$ .
- EVI-1 ed EVI-2 (Enhanced Vegetation Index) che sono indici definiti inizialmente da Huete et al. (2002) e vengono utilizzati nelle applicazioni di telerilevamento satellitare per le quali è importante rimuovere alcuni effetti atmosferici, sensibili alla banda del blu (450-495 nm), nelle aree dove si ha una biomassa vegetale elevata. La formula usata di EVI-1 è la seguente:  $2.5 * (R_{830} - R_{660}) / (R_{830} + 6 * R_{660} - 7.5 * (\text{media } R_{(450-495)} + 1))$ . Jiang et al. (2008) definirono anche una versione simile di questo indice, definito EVI-2, che non richiede l'informazione nella banda del blu. La formulazione usata di EVI-2 è la seguente:  $2.5 * (R_{830} - R_{660}) / (R_{830} + 2.4 * R_{660} + 1)$ .

### Risultati e Discussione

I risultati hanno evidenziato il differente comportamento spettrale dei trattamenti e le relazioni fra parametri culturali misurati ed indici vegetazionali calcolati.

#### Il comportamento spettrale delle due varietà

I sei differenti trattamenti di ciascuna varietà sono stati mediati per analizzare la risposta radiometrica fra 350 e 1350 nm. L'analisi spettrale ha evidenziato un differente comportamento delle due varietà di frumento, con una riflettanza più intensa dell'Andriolo nelle bande utilizzate per il calcolo della maggior parte degli indici vegetazionali (Fig. 1). Il differente comportamento può essere spiegato con la maggior quantità di biomassa accumulata da Andriolo alla data del rilievo.

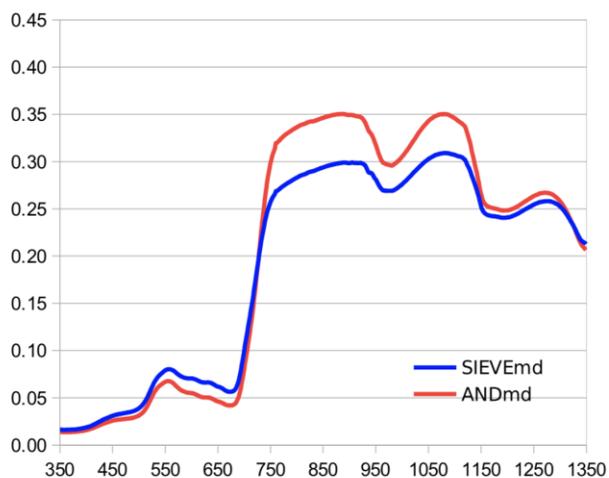


Fig. 1: riflettanza spettrale delle varietà antiche Andriolo e Sieve, misurata con ASD-FieldSpec il 25/05/2018.

Fig. 1: spectral reflectance of the ancient varieties Andriolo and Sieve, measured with ASD-FieldSpec on 05/25/2018.

Nelle differenze di riflettanza possono aver influito anche alcune caratteristiche fenotipiche delle due varietà quali la presenza delle reste e il portamento della spiga piegato a circa 90° della varietà Andriolo a fronte della mancanza di aristatura e portamento della spiga eretto del Sieve.

### L'effetto della fertilizzazione azotata

I tre livelli di concimazione azotata hanno inciso fortemente sulla risposta spettrale ottenuta mediando i rilievi delle due densità di semina (Fig. 2). La differenza fra il livello azotato più basso e quello più alto è molto marcata per entrambe le varietà ed è riconducibile alla differente quantità di biomassa aerea cumulata. Nel Sieve le curve di risposta dei tre trattamenti sono abbastanza equidistanti. L'Andriolo, invece, ha mostrato un effetto di saturazione d'azoto, con i livelli 85 e 135 molto vicini nel comportamento radiometrico da 660-1080 e con una riflettanza molto alta nel rosso del basso azoto. In tal senso il Sieve ha mostrato di avvantaggiarsi molto poco del livello di azoto superiore a 85 kg ha<sup>-1</sup> molto probabilmente a causa della sua elevata efficienza d'utilizzo di questo elemento nutritivo.

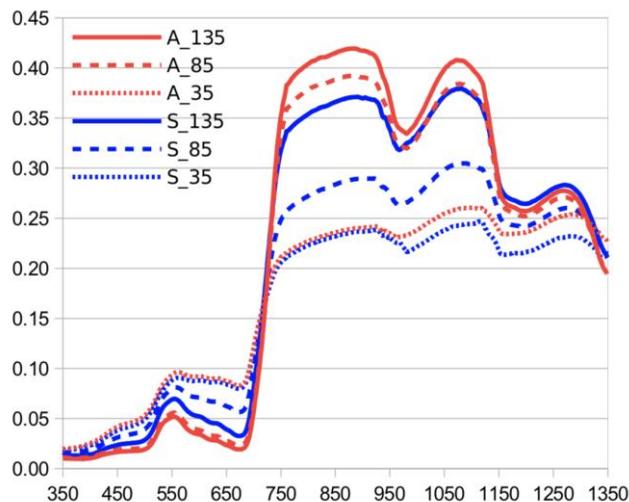


Fig. 2: riflettanza spettrale delle varietà antiche Andriolo e Sieve per 3 differenti trattamenti di concimazione azotata, misurata con ASD-FieldSpec il 25/05/2018.

Fig. 2: spectral reflectance of the ancient varieties Andriolo and Sieve for 3 different nitrogen fertilization treatments, measured with ASD-FieldSpec on 05/25/2018.

### L'effetto della densità di semina

La differente densità di piante per unità di superficie ha avuto un effetto molto basso sulla risposta radiometrica, soprattutto se paragonate all'effetto dei trattamenti azotati.

Il comportamento spettrale ottenuto, mediando i differenti trattamenti azotati di ciascuna varietà, ha mostrato le maggiori differenze nelle bande comprese tra 550 e 680 nm e 770 e 1080, bande normalmente utilizzate dai principali indici vegetazionali (Fig.3).

L'elevato accestimento caratteristico delle varietà antiche è probabilmente motivo delle ridotte differenze. Maggiori

differenze sono probabilmente evidenziabili nelle fasi di inizio accestimento, quando buona parte della "canopy cover" è legata al numero di plantule per unità di superficie. Successivamente l'accestimento risulta inversamente proporzionale alla densità delle plantule e direttamente proporzionale allo spazio trofico di ciascuna plantula, compensando le differenze dovute alla densità di semina.

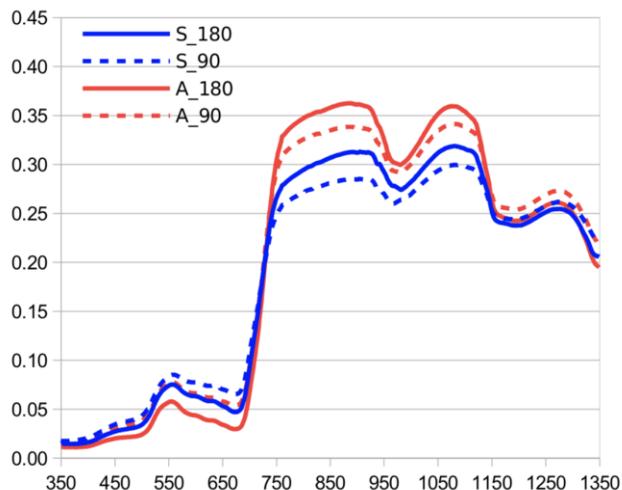


Fig. 3: riflettanza spettrale delle varietà antiche Andriolo e Sieve per 2 differenti densità di semina, misurata con ASD-FieldSpec il 25/05/2018.

Fig. 3: spectral reflectance of the ancient varieties Andriolo and Sieve for 2 different sowing densities, measured with ASD-FieldSpec on 05/25/2018.

### Gli indici quali descrittori della biomassa presente

Le misure effettuate sulla biomassa aerea nella fase di inizio della maturazione acquosa (25 maggio 2018) hanno mostrato una elevata variabilità della biomassa aerea con un range di variazione compreso fra 262,7 e 912,9 gr m<sup>-2</sup> di sostanza secca (Tab. 1). La variabilità è riconducibile sia ai trattamenti agronomici di fertilizzazione azotata e di densità di semina sia alle caratteristiche varietali.

Le informazioni acquisite con il FieldSpec su ciascun trattamento sono state utilizzate per calcolare gli indici vegetazionali che hanno mostrato una elevata variabilità (Tab. 2).

Tab. 1: biomassa aerea rilevata alla data del 25/05/2018 e alla data di raccolta, per ciascun trattamento.

Tab. 1: above ground biomass detected on 05/25/2018 and at the collection date, for each treatment.

TRATTAMENTO	Rilievi 25 maggio					Rilievi raccolta				
	CULMO (gr/m2)	SPIGA (gr/m2)	TOT. (gr/m2)	N CULMO (%)	N SPIGA (%)	GRANELLA (gr/m2)	PAGLIA (gr/m2)	TOTALE (gr/m2)	N GRANELLA (%)	N PAGLIA (%)
sie01_N135-180	667,9	108,1	776,0	0,94	1,99	413,3	1525,3	1938,7	2,03	0,42
sie02_N135-90	528,3	74,7	603,0	0,66	2,04	326,7	1128,0	1454,7	1,78	0,47
sie03_N85-180	380,4	55,1	435,5	0,58	1,71	380,0	1284,0	1664,0	1,49	0,44
sie04_N85-90	446,3	72,5	518,8	0,60	1,95	289,3	1097,3	1386,7	1,75	0,41
sie05_N35-180	228,7	34,1	262,7	0,53	2,23	206,7	684,0	890,7	1,56	0,38
sie06_N35-90	262,9	38,2	301,1	0,62	1,89	212,0	821,3	1033,3	1,49	0,42
and01_N135-180	618,4	71,0	689,4	0,81	1,82	365,3	1750,7	2116,0	2,25	0,63
and02_N135-90	761,5	89,1	850,5	0,62	1,48	278,7	1468,0	1746,7	1,82	0,27
and03_N85-180	626,4	69,7	696,1	0,72	2,05	388,0	1506,7	1894,7	2,10	0,49
and04_N85-90	818,7	94,2	912,9	0,84	2,40	193,3	817,3	1010,7	1,61	0,39
and05_N35-180	233,8	29,3	263,1	0,53	2,06	209,3	662,7	872,0	2,07	0,27
and06_N35-90	537,6	62,5	600,1	0,84	1,85	180,0	658,7	838,7	1,47	0,28

Tab. 2: indici di vegetazione calcolati sulla base delle misure eseguite con ASD-FieldSpec il 25/05/2018.

Tab. 2: vegetation indices calculated on the basis of the measurements performed with ASD-FieldSpec on 05/25/2018.

	indici telerilevati					
	NDVI (830,660)	NDVI (gs:770-790,660-680)	MSR (800/670)	SAVI	EVI1. (blu:450-495)	EVI2
sie01_N135-180	0,827	0,832	2,951	0,554	0,598	0,574
sie02_N135-90	0,811	0,815	2,760	0,534	0,575	0,550
sie03_N85-180	0,737	0,738	2,105	0,457	0,474	0,458
sie04_N85-90	0,552	0,545	1,185	0,327	0,323	0,315
sie05_N35-180	0,535	0,526	1,125	0,303	0,293	0,289
sie06_N35-90	0,410	0,397	0,754	0,240	0,229	0,226
and01_N135-180	0,915	0,918	4,650	0,651	0,726	0,698
and02_N135-90	0,887	0,891	3,917	0,602	0,658	0,634
and03_N85-180	0,903	0,905	4,252	0,632	0,702	0,673
and04_N85-90	0,845	0,848	3,159	0,549	0,588	0,567
and05_N35-180	0,587	0,584	1,328	0,307	0,297	0,292
and06_N35-90	0,373	0,358	0,660	0,237	0,232	0,224

Tutti gli indici hanno mostrato correlazioni significative sia con la biomassa aerea presente al momento del rilievo sia con quella misurata al momento della raccolta (Tab. 3).

La capacità previsionale risulta migliore della capacità descrittiva al momento stesso del monitoraggio remoto. Parte della spiegazione può essere dovuta all'ampliamento delle differenze nelle biomasse cumulate che si sono verificate dal momento del rilievo (25 maggio) alla maturazione fisiologica avvenuta circa 45 giorni dopo. In questo periodo i frumenti con maggiore biomassa vegetativa hanno guadagnato un vantaggio nell'accumulo di fotosintati rispetto a quelli che presentavano minore biomassa aerea.

Tab. 3:  $R^2$  della relazione lineare fra gli indici di vegetazione e l'indice di biomassa vegetativa aerea al momento del rilievo ed alla raccolta. Significatività: significativo per  $R^2 \geq 0,306$ , molto significativo  $R^2 \geq 0,467$ , altamente significativo  $R^2 \geq 0,642$ .

Tab. 3:  $R^2$  the linear relationship between vegetation indices and the vegetative above ground biomass index at survey and collection dates. Significance: significant for  $R^2 \geq 0.306$ , very significant  $R^2 \geq 0.467$ , high significant  $R^2 \geq 0.642$ .

	NDVI (830,660)	NDVI (gs:770-790,660-680)	MSR (800/670)	SAVI	EVI1. (blu:450-495)	EVI2
PS 25 maggio	0,4093	0,4878	0,5283	0,5712	0,5792	0,5747
PS raccolta	0,6049	0,6013	0,6048	0,6737	0,6803	0,6798

Il problema della saturazione degli indici di vegetazione che si manifesta con il susseguirsi delle fasi fenologiche e del correlato aumento della biomassa vegetale, non ha avuto grande influenza. Il problema della saturazione è legato a coltivazioni ove le differenze di vegetazione sono contenute in quanto la tecnica colturale ha l'obiettivo di omogeneizzare la riuscita della coltura e massimizzare la produzione. Nel campo sperimentale i trattamenti hanno forzato le differenze e, nonostante l'elevata vegetazione dei frumenti antichi, tutti gli indici non hanno risentito di questo fenomeno. Anche l'NDVI, che nel frumento nelle fasi fenologiche successive alla botticella perde la capacità discriminante sulle differenze vegetazionali è risultato significativamente correlato alla biomassa al momento del rilievo e a quella finale (Marti et al., 2007).

## Conclusioni

L'analisi svolta costituisce una conferma dei risultati già ottenuti in letteratura (Marti et al., 2007; Yao et al., 2013).

Anche per i frumenti antichi, caratterizzati da maggiore biomassa aerea nelle fasi fenologiche successive a fine levata, la capacità descrittiva dei principali indici vegetativi telerilevati consente una buona stima del rigoglio vegetativo.

Le differenze varietali, di fertilizzazione azotata e di dose di seme hanno avuto una significativa incidenza sulla riflettanza principalmente a causa della variazione della biomassa. Le osservazioni e le quantificazioni delle differenze di riflettanza nelle bande spettrali di riferimento, sia nel visibile sia nell'infrarosso, ed il confronto dei vari indici di vegetazione costituiscono un utile criterio descrittivo delle colture esaminate consentendo una migliore gestione di tutte le pratiche agronomiche impiegate. Tuttavia per completare l'analisi sarà necessario un ulteriore approfondimento con un secondo ciclo di rilievi e con il confronto con altre varietà di frumento.

Infine, è auspicabile un confronto con le informazioni risultanti dal nuovo satellite PRISMA, anche se la risoluzione spaziale elevata lo rende idoneo a monitoraggi su ampie superfici coltivate e quindi più funzionale ad attività di programmazione rispetto a operazioni di agricoltura di precisione così come svolte nei territori del centro Italia.

## Bibliografia

- Basso B., Cammarano D., De Vita P., 2004. Remotely sensed vegetation indices: theory and applications. *Italian Journal of Agrometeorology*, 1/20104 - 36-53.
- Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A.R., 1985. A review of vegetation indices. *Remote Sens Rev.* 1995;13(1-2):95-120.
- Dalla Marta A., Grifoni D., Mancini M., Orlando F., Guasconi F., Orlandini S., 2015. Durum wheat in-field monitoring and early-yield prediction: assessment of potential use of high-resolution satellite imagery in a hilly area of Tuscany, Central Italy. *Journal of Agricultural Science* 153: 68-77.
- Ecarnot M., Compan F., Roumet P., 2013. Assessing leaf nitrogen content and leaf mass per unit area of wheat in the field throughout plant cycle with a portable spectrometer. *Field Crops Research* 140: 44-50.
- Haboudane D., Miller J.R., Pattey E., Zarco-Tejada P.J., Strachan I.B., 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment* 90: 337-352.
- Huete A.R., 1988. A soil vegetation adjusted index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* 25: 295-309.
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E., Gao X., & Ferreira L., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83, 195-213.
- Jiang Z., Huete A.R., Didan K., Miura T., 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment* 112: 3833-3845.
- Kamenova I., Filchev L., Ilieva I., 2017. Review of spectral vegetation indices and methods for estimation of crop biophysical variables. *Bulgarian Academy of Sciences. Space Research and Technology Institute. Aerospace Research in Bulgaria.* 29, 2017, Sofia.
- Marti J., Bort J., Slafer G.A., Araus J.L., 2007. Can wheat yield be assessed by early measurements of Normalized Difference Vegetation Index? *Annals of Applied Biology*, 150:253-257.
- Orlandini S., Mancini M., Grifoni D., Orlando F., Dalla Marta A., Capecchi V., 2011. Integration of meteorological and remote sensing information for the analysis of durum wheat quality in Val d'Orcia (Tuscany, Italy). *Idojaras* 115: 233-245.
- Orlando F., Dalla Marta A., Mancini M., Motha R., Qu J., Orlandini S., 2015. Integration of remote sensing and crop modeling for the early assessment of durum wheat harvest at the field scale. *Crop Science*, 55(3):1280
- Spisni A., Marletto V., Botarelli L., 2012. Indici vegetazionali da satellite per il monitoraggio in continuo del territorio. *Italian Journal of Agrometeorology* - 3: 49-55.
- Stone M., Solie J., Raun, W., Whitney R., Taylor S., Ringer J., 1996. Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. *T. ASAE* 39: 1623-1631.
- Tucker C. J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8:127-150.
- Yao X., Zhu Y., Tian Y. C., Feng W., Cao W.X., 2010. Exploring hyperspectral bands and estimation indices for leaf nitrogen accumulation in wheat. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12: 89-100.
- Yao X., Yao X., Jia W., Tian Y., Ni J., Cao W., Zhu Y., 2013. Comparison and Intercalibration of Vegetation Indices from Different Sensors for Monitoring Above-Ground Plant Nitrogen Uptake in Winter Wheat. *Sensors* 13: 3109-3130.
- Yao X., H. Ren, Z. Cao, Y. Tian, W. Cao, Y. Zhu, T. Cheng, 2014. Detecting leaf nitrogen content in wheat with canopy hyperspectrum under different soil backgrounds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 32: 114-124.

## Ringraziamenti

Si ringrazia la Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze per il sostegno fornito alla ricerca. Il progetto GRANT a valere sul PSR della Regione Toscana per l'allestimento delle parcelle sperimentali. L'Ente Terre Regionali Toscane Tenuta di Cesa per il sostegno alla continuità delle prove sperimentali.

# STIME DI PRODUTTIVITÀ DEI PASCOLI A DIVERSE SCALE

## *SIMULATION OF PASTURE YIELD AT DIFFERENT SCALES*

Gabriele Cola<sup>1\*</sup>, Roberto Comolli<sup>2</sup>, Luigi Mariani<sup>1,3</sup>, Chiara Ferré<sup>2</sup>, Simone Parisi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Milano – Disaa

<sup>2</sup> Università degli Studi di Milano Bicocca - Dipartimento di Scienze dell’Ambiente e della Terra (DISAT)

<sup>3</sup> Museo Lombardo di Storia dell’Agricoltura

<sup>4</sup> Abaco S.p.A. , Corso Umberto I, 43, 46100 Mantova

\* Via Celoria 2, 20133 Milano – gab.col@gmail.com

### **Abstract**

Crop yield models are interesting tools susceptible to multiple operational uses. In this work 3 different applications to pastures at different spatial scales are illustrated: a pasture at the Andossi Plateau (Valchiavenna (SO) -Italy), the whole Italian country and Ethiopia.

### **Parole chiave italiano**

Simulazione delle rese, Pascoli, Altopiano degli Andossi, Italia, Etiopia

### **Keywords english**

Yield simulation, Pastures, Andossi Plateau, Italy, Ethiopia

### **Introduzione**

Obiettivo di questo lavoro è rendere conto in termini sommari delle tecniche modellistiche oggi disponibili per la simulazione della produttività dei pascoli. Tali tecniche sono importanti sia per la stima in tempo reale di pascoli esistenti sia per la valutazione preventiva di terre incolte suscettibili di sfruttamento a pascolo e che sono occupate da vegetazione (arbusti, alberi, felci, ecc.) assai diversa da quella ideale per il pascolo. Infatti, per verificare preliminarmente se sia conveniente la trasformazione in pascolo è essenziale eseguire stime di resa una volta che il pascolo sarà stato ripristinato e la vegetazione sarà quella attesa “a regime”. A tal fine si possono utilizzare tecniche speditive basate sulla similitudine con ambienti pascolivi analoghi per caratteri climatici, pedologici e morfologici (pendenza, esposizione, ecc.). Alternativamente si possono applicare tecniche modellistiche matematiche che partendo da dati meteorologici e pedologici consentano di ricavare le rese medie e la variabilità interannuale delle stesse. Al riguardo è doveroso premettere che quando ci riferiamo a modelli matematici intendiamo modelli di produzione guidati da variabili meteorologiche e in tale ambito distinguiamo due principali tipologie di modelli:

- modelli empirici che stimano la resa con equazioni che esprimono la produzione in funzione delle variabili guida meteorologiche (temperatura, precipitazione in primis) e pedologiche (ad es. tessitura, caratteristiche idrologiche, disponibilità di nutrienti) e idrologiche (contenuto idrico del suolo) (Qui et al., 2017);
- modelli meccanicistici che simulano la “cascata” di energia proveniente dal sole che si trasforma in una “cascata” di materia che viene poi allocata nei diversi organi (foglie, fusti, radici, organi di riserva) (de Wit, 1978).

I modelli empirici hanno spesso un approccio sintetico, per cui ad esempio considerano le risorse (termiche, pluviometriche, ecc.) riferite all’intera stagione di crescita

intesa come periodo che intercorre fra l’ultima gelata primaverile e la prima gelata autunnale o a frazioni di essa (mesi, trimestri). Al contrario i modelli meccanicistici sono di norma anche modelli di simulazione dinamica nel senso che considerano la variabile tempo procedendo con passo giornaliero od orario a seconda della variabilità del fenomeno che sono chiamati a descrivere (ad esempio nel caso delle risorse termiche si rivela spesso più efficace un approccio orario data la variabilità temporale che le caratterizza).

I modelli matematici costituiscono oggi una risorsa importante per dare risposte a problemi pratici di grande rilevanza per le attività agricole a livello di campo o territoriale, non solo stimando le rese e la qualità dei prodotti ma anche quantificando le esigenze idriche e nutrizionali delle colture agrarie o valutando l’impatto dell’agricoltura sull’ambiente (de Wit, 1978; Monteith, 1973). Si deve peraltro ricordare che i modelli matematici sono strumenti potenti e che tuttavia richiedono un utilizzo prudente e che non trascuri la necessaria verifica dei loro risultati tramite il confronto con dati reali. A questo ci richiama peraltro uno scritto di Monteith (1996) che mette in luce pregi e difetti dei modelli e degli stessi modellisti.

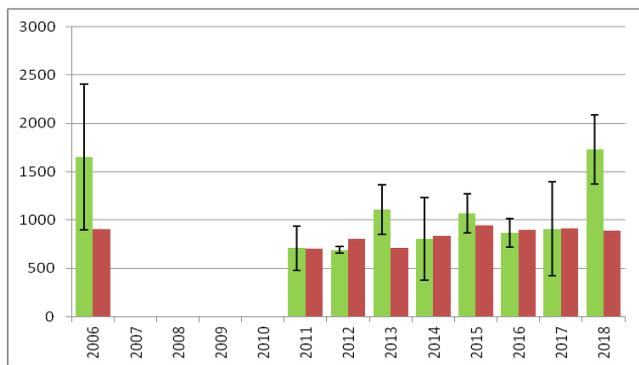


Figura 1 - Simulazioni di resa per l'alpeggio Andossi - risultati preliminari per Seslerieto-Agrostideto (in rosso i dati simulati e in verde quelli misurati – la barra verticale indica 1 deviazione standard).

Figure 1 - Yield simulation for Andossi mountain pasture - preliminary results for Seslerieto-Agrostideto (red for simulated data and green for measured data- vertical bar indicates 1 standard deviation).

## Materiali e metod

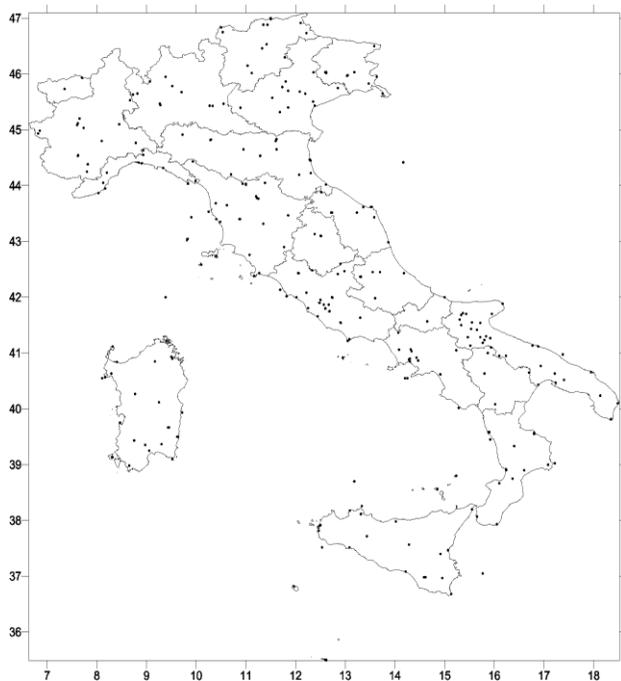


Figura 2 - Le 202 stazioni meteorologiche di riferimento per condurre un'analisi a scala nazionale della produttività di *Festuca pratensis* Huds. in coltura asciutta.

Figure 2 - 202 reference meteorological stations for an analysis at a national level of the productivity of *Festuca pratensis* Huds. in dry culture

## Esempi di modelli meccanicistici di produzione dei pascoli

Il modello di produzione per l'alpeggio degli Andossi (SO) è relativo ad un pascolo collocato sul versante italiano a breve distanza dal passo dello Spluga e le cui caratteristiche si trovano qui: <https://sites.google.com/site/andossiproject/>.

Tale alpeggio è soggetto a monitoraggi meteorologici, biologici (produttività e composizione floristica del pascolo) e pedologici che si protraggono dal 2001 (Comolli et al., 2011), andando così a formare un dataset unico in termini di continuità e che si rivela molto utile per calibrare e validare modelli di produzione dei pascoli.

Le misure di produzione effettuate sono relative a 4 tipologie di pascolo (seslerieto-agrostideto, pascolo pingue, riposi e nardeto). I risultati preliminari del modello di produzione parametrizzato per seslerieto-agrostideto sono riportati in figura 1. L'R<sup>2</sup> ottenuto fra media delle misure e valori simulati è di 0.14 ma sale a 0.74 se non si considerano gli anni 2006, 2013 e 2018.

Nella figura 2 si riportano i risultati di un modello di produzione applicato a livello nazionale ad un ipotetico prato di festuca. Le stazioni meteorologiche di riferimento per le elaborazioni sono riportate in figura 3. Si noti la variabilità territoriale esistente nelle risorse termiche e nelle limitazioni termiche e idriche. Si noti anche il manifestarsi di sensibili limitazioni produttive dovute alla siccità estiva frutto della mediterraneità.

Infine nella figura 4 si riportano i risultati di un modello di produzione meccanicistico applicato ai pascoli etiopi. Tale modello si riferisce ad uno dei paesi africani con la maggiore popolazione bovina e consente di descrivere con grande dettaglio la variabilità spazio temporale della produzione.

Festuca pratensis - Resa media 1988-2017 (g m<sup>-2</sup>)

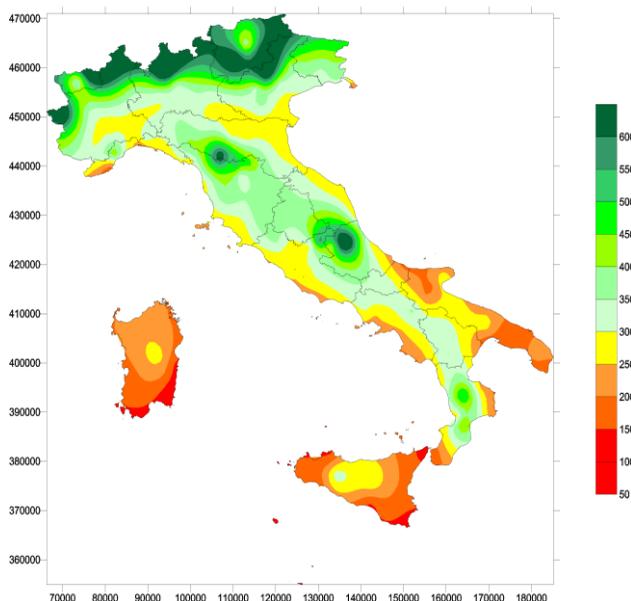


Figura 3 - Sostanza secca epigea media annua stimata con il modello di produzione applicato al periodo 1988-2017.

Figure 3 - Annual mean epigeal dry matter estimated with the production model applied to the period 1988-2017.

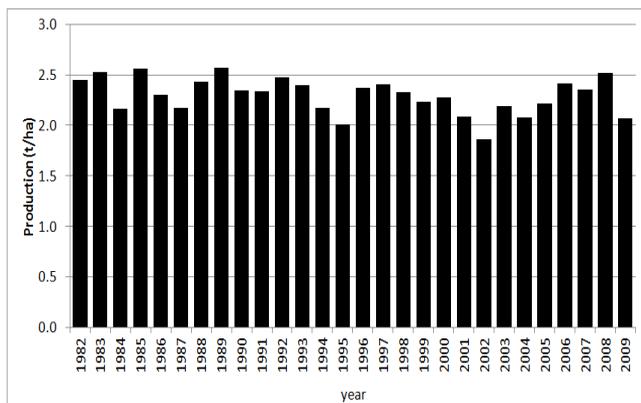


Figura 4 –Produzione media annua di biomassa epigea dei pascoli dell’Etiopia (t/ha). I minimi si osservano negli anni di El Nino che producono una ridotta intensità del monsone estivo, responsabile delle piogge da giugno a ottobre che sono un fattore di produzione essenziale per la zootecnia etiopica (Parisi et al., 2017).

Figure4 - Annual mean epigeal biomass of Ethiopian pasture (t/ha). Minimum can be observed during El Nino years, causing a reduced intensity of summer monsoon, responsible for rain from June to October, an essential production factor for Ethiopian zootecnics.

## Risultati e discussioni

Si noti che tutti i modelli proposti sono idonei a un impiego operativo con stime di produzione emesse in tempo quasi reale. Ad esempio il modello di produzione della festuca per l’areale italiano è stato alimentato con dati giornalieri di precipitazione e temperatura massima e minima di 202 stazioni sinottiche afferenti alla rete NOAA Gsod, dati che sono presenti per il periodo 1973-2018 e che sono di norma aggiornati con un ritardo massimo di 2 giorni rispetto alla misura. I modelli stessi potrebbero essere anche alimentati con dati previsti da modelli meteorologici previsionali a medio termine (fino a 2 settimane in avanti rispetto all’emissione) o con previsioni a lungo termine prodotte in base a dati climatici e utili a consentire previsioni di resa per i mesi successivi all’emissione.

## Conclusioni

I modelli di simulazione sono uno strumento utile per stime di resa produttiva dei pascoli e l’approccio si può basare tanto su modelli empirici quanto su modelli meccanicistici. L’applicazione di ambedue le categorie di modelli dipende dalla disponibilità di dati meteorologici. L’approccio modellistico dovrebbe essere in ogni caso fondato su:

- dati meteorologici di buona qualità e prodotti con regolarità come input per i modelli;
- misure di biomassa al suolo e da remote sensing per calibrare/validare i modelli e, in fase operativa, per controllarne l’accuratezza degli output ed eventualmente correggerli da errori sistematici.

## Bibliografia

- Comolli, R. Bernardelli, E.; Ferré, C., 2011. Pedologia: tipi di suolo e loro caratteristiche. In Aldighieri B.; Mazzoleni G. (Eds.): La Valchiavenna: un bacino pilota per il controllo dell’ambiente alpino (Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria, 10), pp. 55–107.
- de Wit, C.T., 1978. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops, Pudoc, Wageningen, 141 pp.
- Mariani L., 2017. Carbon plants nutrition and global food security, Eur. Phys. J. Plus 132 : 69
- Monteith J.L., 1996. The quest for balance in crop modeling. Agronomy Journal, 88/1996, pp. 695–697
- Monteith J.L., 1973. Principles of environmental physics, William Clowes Sons, London, 241 pp.
- Parisi S.G., Cola G., Gilioli G., Mariani L., 2018. Modeling and improving Ethiopian pasture systems, Int J Biometeorol <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1492-0>
- Qi A., Murray P.J., Richter G.M., 2017. Modelling productivity and resource use efficiency for grassland ecosystems, European Journal of Agronomy 89: 148–158

**RADIOSONDAGGI DI UDINE:  
ANALISI DEI TREND DELLE TEMPERATURE IN QUOTA (1982-2018),  
DELLA QUOTA DELLO ZERO TERMICO (1992-2017) E CONFRONTO CON  
DATI A TERRA**

**UDINE RADIOSOUNDINGS:  
ANALYSIS OF TROPOSPHERIC TEMPERATURE TRENDS (1982-2018), OF THE  
THERMAL ZERO HEIGHT (1992-2017) AND COMPARISON WITH GROUND-LEVEL  
TEMPERATURE TIME SERIES**

Andrea Cicogna<sup>1\*</sup>, Arturo Pucillo<sup>1</sup>, Agostino Manzato<sup>1</sup>, Valentina Gallina<sup>1</sup>, Stefano Micheletti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ARPA-FVG – S.O.C. Osmer, Via Natisone, 43, 33057 Palmanova (UD) -  
\*andrea.cicogna@arpa.fvg.it

**Abstract**

The temperatures measured at three standard isobaric levels (850, 700 and 500 hPa) are analyzed, after being extracted from high-vertical-resolution Udine radio-soundings, carried out by the Italian Air Force at the Campofornido and Rivolto stations from 1982 to 2018. In Friuli Venezia Giulia region (NE Italy) the increase of average ground temperature observed in the last 36 years can be also found in the measurements at the mandatory levels, both in the planetary boundary layer (850 hPa) as in the free atmosphere (500 hPa).

For both ground as tropospheric data, the increase of the annual average (i.e. trend slope) is positive (with a high  $r^2$ ) in spring and summer. On the contrary, in autumn and winter there are no significant trends.

At the highest tropospheric levels the increase of the slope of the inter-annual fit is higher than the increase found at the isobaric level of 850 hPa, which is often inside the planetary boundary layer. In fact, the slope of the interpolating line of thermal anomalies at 850 hPa is similar to that found for the ground data.

For the period 1992-2018, the thermal zero height, derived from the same radio-soundings, is also analyzed: the thermal zero height presents a positive and significant trend at the annual and seasonal level, with the exclusion of winter.

**Parole chiave**

Friuli Venezia Giulia, radiosondaggi, altezza dello zero termico, temperatura al suolo

**Keywords**

Friuli Venezia Giulia, radio-soundings, thermal zero height, ground-level temperature time series

**Introduzione**

I cambiamenti climatici sono oggi un tema prioritario che coinvolge scienza, società e politica. L'evidenza scientifica dell'entità del riscaldamento globale si è andata sempre più consolidando negli ultimi anni e le conseguenze più significative dell'aumento della concentrazione di gas serra sono l'aumento della temperatura terrestre e degli oceani, l'innalzamento del livello medio del mare, l'aumento dell'intensità degli eventi estremi (IPCC, 2013).

Lo studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG, 2018) ha messo in luce le evidenze dei cambiamenti climatici già in atto nella regione, nonché le proiezioni che potrebbero realizzarsi in futuro.

In linea con i dati europei, anche in Friuli Venezia Giulia, la temperatura atmosferica è aumentata negli ultimi anni. Rispetto a una temperatura media annua di 12.6 °C, che era la norma nel trentennio di riferimento (1961-1990), negli ultimi anni si sono raggiunti valori decisamente superiori, con il picco di 14.6 °C del 2014. Nell'intero periodo 1961-2016 l'aumento medio della temperatura media è stato pari

a 0.3 °C ogni 10 anni, con una chiara tendenza all'accelerazione nei decenni più recenti.

Analizzando i dati suddivisi nelle quattro stagioni, si nota come gli ultimi due decenni risultino decisamente i più caldi della serie in ogni stagione dell'anno, ma con l'estate che mostra il tasso di incremento maggiore (0.4 °C per decennio).

In questo lavoro si intende indagare un aspetto specifico: analizzare se l'incremento medio della temperatura al suolo degli ultimi decenni in Friuli Venezia Giulia trova riscontro anche nelle misurazioni in quota.

Per rispondere a questa domanda sono state analizzate le temperature misurate a tre altezze isobariche standard (850, 700 e 500 hPa) dai radiosondaggi di Udine effettuati dall'Aeronautica Militare Italiana nelle stazioni di Campofornido e Rivolto dal 1982 al 2018.

Per il periodo 1992-2018 è stata inoltre analizzata l'altezza dello zero termico desunta dalle analisi dei medesimi radiosondaggi. Per tale periodo, infatti, si dispone anche dei radiosondaggi ad alta risoluzione verticale necessari per una precisa determinazione di questa variabile.

Infine, è stato osservato come l'altezza dello zero termico in quota e la temperatura media al suolo sul Monte Zoncolan abbiano un andamento molto simile.

## Materiali e Metodi

Sono stati esaminati i dati dei radiosondaggi delle ore 12 e 24 UTC. Il numero dei dati disponibili per l'analisi è riportato in tabella 1.

Le temperature misurate ai tre livelli isobarici standard sono state mediate prima a livello giornaliero e, successivamente, a livello mensile. Infine i dati mensili sono stati aggregati mediandoli a livello stagionale. Stesso tipo di trattamento è stato fatto anche per le altezze geopotenziali relative ai tre livelli isobarici 850, 700 e 500 hPa.

La determinazione dell'altezza dello zero termico, per ogni radiosondaggio disponibile nel formato ad alta risoluzione verticale, è stata effettuata selezionando tutte le quote a cui la temperatura risulta pari a 0 °C (o le quote in cui è più prossima). Viene poi indicata come quota dello zero termico quella più elevata a cui sono soddisfatte tali condizioni, ovvero se sono presenti diversi livelli in cui si passa per lo zero termico viene considerato solo il più alto.

Tab. 1 - Radiosondaggio di Udine 1992-2018: Numerosità dei dati di temperatura disponibili per mese/anno ai livelli isobarici di 500,700 e 850 hPa.

Tab. 1 - Udine radio-sounding 1992-2018: Number of available cases per month/year at isobaric levels of 500, 700 and 850 hPa.

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
gen	55	60	55	61	55	59	62	55	56	45	58	62	62	60	60	61	61	62	62
feb	53	53	58	55	56	53	51	53	55	51	55	55	34	55	55	56	56	56	58
mar	50	61	59	61	61	54	57	57	59	59	62	62	31	62	60	60	62	62	62
apr	57	60	60	59	60	56	59	55	59	59	58	60	58	60	58	59	58	60	60
mag	58	52	62	61	59	56	56	57	61	56	61	62	56	44	62	62	61	62	62
giu	58	56	58	60	58	49	40	47	59	57	59	60	56	59	60	59	59	60	60
lug	59	55	62	61	54	47	55	56	57	55	60	62	62	62	45	61	61	62	62
ago	61	62	61	62	56	49	56	54	60	60	59	60	61	62	62	62	59	62	62
set	56	60	54	59	52	54	54	55	53	53	60	60	58	59	60	59	60	60	60
ott	62	60	61	62	58	57	59	57	59	60	60	61	36	61	61	62	60	60	62
nov	58	59	60	59	56	60	53	49	60	57	59	60	60	60	59	59	60	60	59
dic	62	62	60	58	58	60	54	54	59	60	62	58	61	61	61	62	61	61	62
anno	689	700	710	718	683	654	656	649	697	672	713	722	635	705	703	722	718	727	731
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
gen	62	60	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	61	61	62	62
feb	56	56	56	57	56	56	56	58	56	55	56	58	56	55	56	55	56	55	55
mar	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	61	62	62	61	60	62	62	61	61
apr	59	60	60	60	60	45	60	60	60	60	60	60	59	60	60	60	60	60	60
mag	62	62	61	62	62	62	62	62	62	62	61	62	62	62	62	62	62	62	55
giu	60	60	58	60	60	60	60	60	60	60	57	60	60	58	60	60	60	60	60
lug	62	62	61	62	61	62	62	62	62	62	61	62	62	62	62	62	62	62	62
ago	62	60	61	62	62	62	60	61	62	61	62	62	62	62	62	60	60	62	61
set	60	60	60	59	60	60	55	59	60	58	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ott	62	62	62	57	62	62	62	62	62	62	62	62	62	60	62	62	62	62	62
nov	57	60	60	60	55	60	60	60	60	60	59	59	60	60	60	58	60	60	60
dic	57	62	62	62	62	62	62	61	60	61	62	62	62	62	62	61	61	61	61
anno	721	726	725	725	724	715	723	730	729	723	723	731	726	725	728	723	727		

Nel paragrafo che segue vengono presentati i risultati del lavoro sopra descritto.

## Risultati e discussioni

### Analisi delle temperature per i diversi livelli isobarici

Per confrontare l'andamento delle temperature nel tempo ai tre livelli isobarici è stato calcolato il valor medio di ogni serie (Tab. 2). Quindi, per ogni valore di ogni serie è stata calcolata l'anomalia rispetto al proprio valor medio.

Tab. 2 - Radiosondaggio di Udine 1982-2018: media e dev.st delle temperature misurate ai tre livelli isobarici a livello annuale e stagionale (°C)

Tab. 2 - Udine radio-sounding 1982-2018: average and deviation standard measured at the three isobaric levels at an annual and seasonal level (°C)

Periodo	500 hPa		700 hPa		850 hPa	
	media	dev.st	media	dev.st	media	dev.st
<b>anno (A)</b>	-19.1	0.5	-3.0	0.5	6.0	0.6
<b>primavera (B)</b>	-21.5	0.9	-5.2	1.0	4.4	1.1
<b>estate (C)</b>	-13.0	0.8	2.9	0.8	13.4	1.0
<b>autunno (D)</b>	-17.4	0.9	-1.6	1.1	6.8	0.9
<b>inverno (E)</b>	-24.5	1.3	-8.3	1.3	-0.4	1.3

La figura 1 riporta, a livello annuale e nelle diverse stagioni (A, B, C, D, E), l'andamento delle anomalie delle temperature medie ai tre livelli isobarici.

L'andamento di tali anomalie è stato interpolato con un fit lineare. In legenda vengono riportati il coefficiente di determinazione ( $r^2$ ) e la pendenza di tutte le rette interpolanti.

Per facilità di lettura, in ogni figura viene visualizzato solo il fit lineare dell'anomalia relativa alle temperature misurate a 850 hPa, che è quella che, in genere, presenta la pendenza maggiore e l' $r^2$  più elevato.

Si nota come l'incremento medio (cioè l'andamento della pendenza) risulti positivo e con un'elevata correlazione sia a livello annuale, che in primavera ed estate. In questi tre intervalli temporali, la pendenza risulta più elevata al livello isobarico di 850 hPa che negli altri due, essendo quello che risente di più dell'influsso del suolo, perché spesso si trova spesso nello strato limite planetario (PBL, planetary boundary layer). In particolare, si nota come a 850 hPa il fit lineare raggiunga una pendenza pari a 0.29 °C ogni 10 anni nella media interannuale ed una pendenza pari a 0.52 °C ogni 10 anni nella media dei soli 3 mesi estivi.

Al contrario, in autunno ed in inverno non si notano trend significativi.

### Analisi delle altezze per i diversi livelli isobarici

Similmente alle temperature, per confrontare assieme l'andamento delle altezze geopotenziali relative ai tre livelli isobarici, è stato calcolato il valor medio di ogni serie (Tab. 3). Quindi, per ogni valore di ogni serie è stata calcolata l'anomalia rispetto al proprio valor medio.

Tab. 3 - Radiosondaggio di Udine 1982-2018: media e dev.st delle altezze dei tre livelli isobarici a livello annuale e stagionale (m slm)

Tab. 3 – Udine radio-sounding 1982-2018: average and deviation standard measured at the three isobaric levels at an annual and seasonal level (m amsl)

Periodo	500 hPa		700 hPa		850 hPa	
	media	dev.st	media	dev.st	media	dev.st
<b>anno (A)</b>	5642	17	3056	13	1491	10
<b>primavera (B)</b>	5589	27	3026	21	1473	17
<b>estate (C)</b>	5771	18	3126	12	1522	8
<b>autunno (D)</b>	5675	27	3073	20	1501	16
<b>inverno (E)</b>	5532	46	2999	36	1468	30

La figura 2 riporta, a livello annuale e nelle diverse stagioni (A, B, C, D, E), l'andamento delle anomalie delle altezze medie ai tre livelli isobarici. Come per le temperature, anche in questo caso, l'andamento delle anomalie è stato interpolato linearmente. Il coefficiente di determinazione ( $r^2$ ) e la pendenza di tutte le rette interpolanti sono riportate in legenda.

In ogni figura viene visualizzato solo il fit lineare della anomalia relativa alla quota del livello isobarico di 850 hPa. A differenza di quanto trovato per le temperature (Figura 1A-E), in questo caso in nessun periodo e a nessun livello isobarico si evidenziano dei trend significativi.

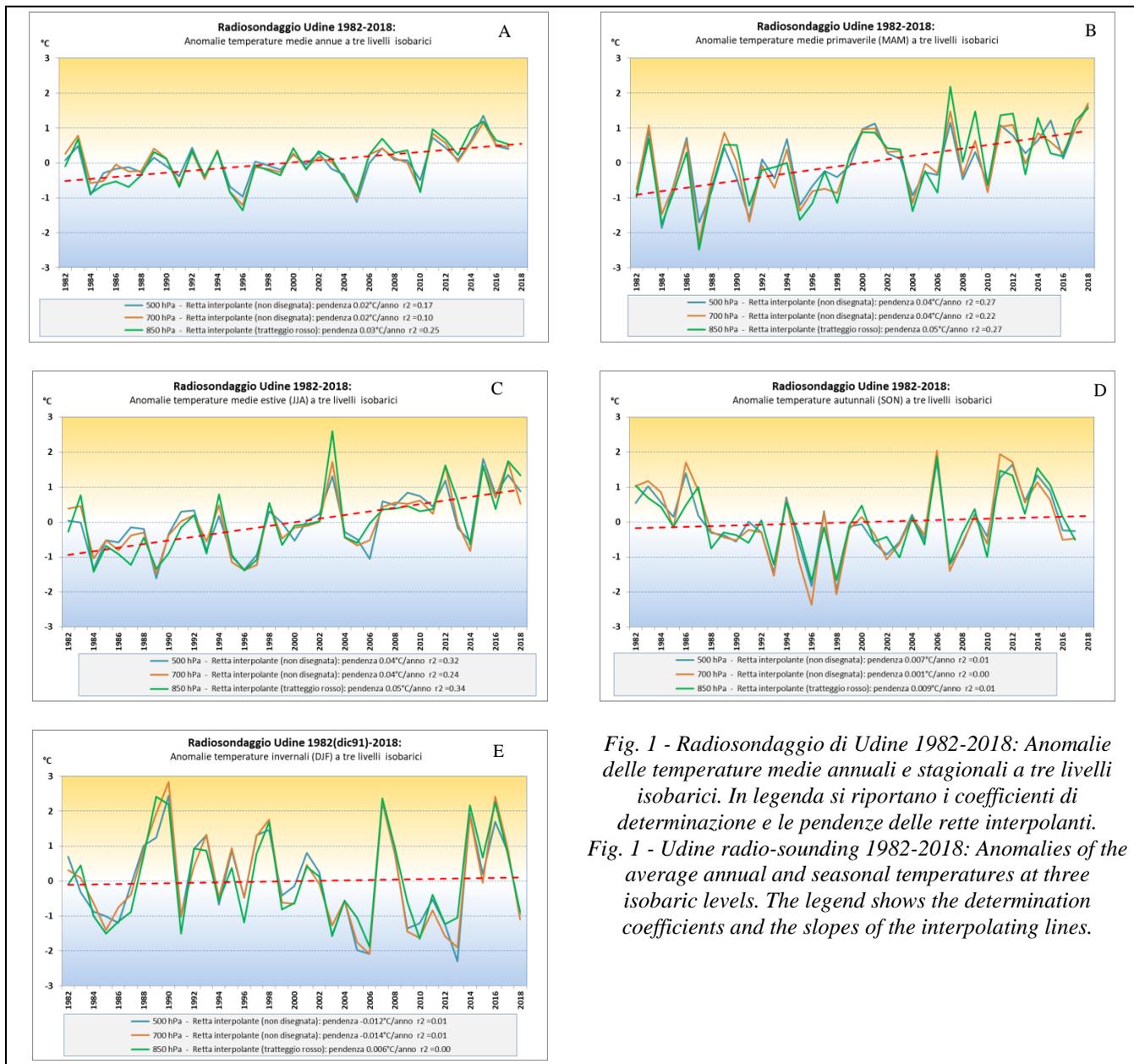


Fig. 1 - Radiosondaggio di Udine 1982-2018: Anomalie delle temperature medie annuali e stagionali a tre livelli isobarici. In legenda si riportano i coefficienti di determinazione e le pendenze delle rette interpolanti.

Fig. 1 - Udine radio-sounding 1982-2018: Anomalies of the average annual and seasonal temperatures at three isobaric levels. The legend shows the determination coefficients and the slopes of the interpolating lines.

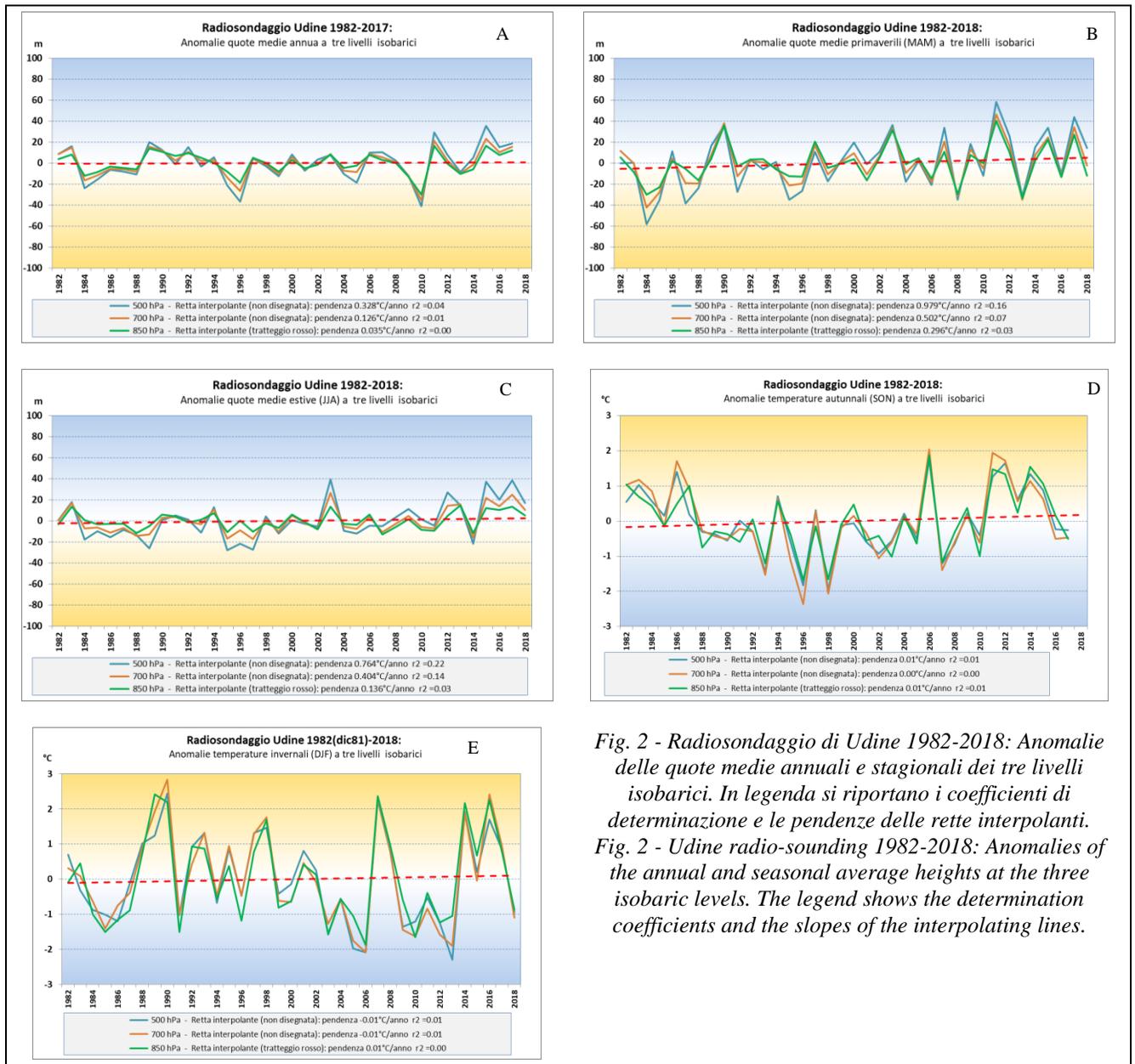


Fig. 2 - Radiosondaggio di Udine 1982-2018: Anomalie delle quote medie annuali e stagionali dei tre livelli isobarici. In legenda si riportano i coefficienti di determinazione e le pendenze delle rette interpolanti.

Fig. 2 - Udine radio-sounding 1982-2018: Anomalies of the annual and seasonal average heights at the three isobaric levels. The legend shows the determination coefficients and the slopes of the interpolating lines.

### Confronto delle temperature in quota e al suolo

Per il confronto delle temperature in quota con quelle misurate vicino al suolo (2 metri dal terreno) si fa riferimento alla serie storica della temperatura di Udine (HistAlp 1982 1991 + OSMER-RAFGV 1992-2018). Anche per tale serie è stato calcolato il valor medio a livello annuale e stagionale (Tab. 4) e, successivamente, sono state calcolate le anomalie. Come curiosità il confronto tra la tabella 2 e la 4 ci fa vedere come in media la primavera sia sempre più fredda dell'autunno, ma mentre al suolo questa differenza è piccola (1 °C), più si sale e più l'autunno diventa più caldo della primavera.

La figura 3 riporta, a livello annuale e nelle diverse stagioni (A, B, C, D, E), l'andamento delle anomalie delle temperature medie ai tre livelli isobarici confrontate con i dati della serie di temperature al suolo sopracitata. L'andamento delle anomalie è stato interpolato linearmente: il coefficiente di determinazione e la pendenza di tutte le rette interpolanti sono riportate in legenda. In ogni figura viene visualizzato solo il fit lineare della anomalia relativa alle temperature a terra: gli andamenti delle temperature a terra sono sovrapponibili con quelli in quota.

Tab.4 - Udine 1982-2018: media e dev.st delle temperature misurate a terra a livello annuale e stagionale (°C).

Tab. 4 – Udine 1982-2018: Annual and seasonal average and standard deviation of the observed temperature at the ground level (°C)

periodo	media	dev.st
<b>anno (A)</b>	13.3	0.6
<b>primavera (B)</b>	12.7	1.0
<b>estate (C)</b>	22.4	1.0
<b>autunno (D)</b>	13.7	0.8
<b>inverno (E)</b>	4.3	1.0

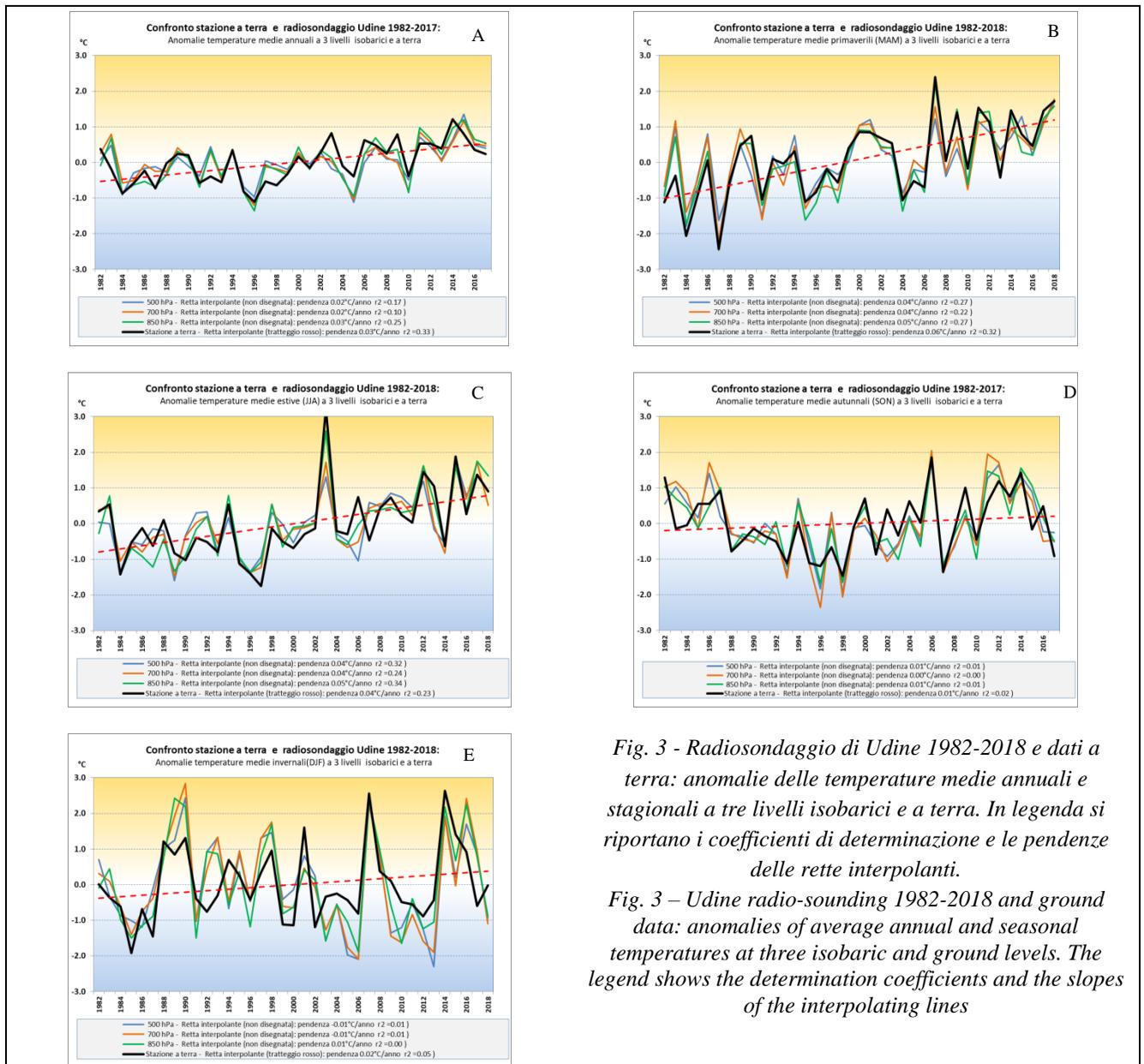


Fig. 3 - Radiosondaggio di Udine 1982-2018 e dati a terra: anomalie delle temperature medie annuali e stagionali a tre livelli isobarici e a terra. In legenda si riportano i coefficienti di determinazione e le pendenze delle rette interpolanti.

Fig. 3 – Udine radio-sounding 1982-2018 and ground data: anomalies of average annual and seasonal temperatures at three isobaric and ground levels. The legend shows the determination coefficients and the slopes of the interpolating lines

### Confronto delle quote dello zero termico in quota e al suolo

Nelle figure 4 e 5 si riportano gli andamenti delle quote dello zero termico nel periodo 1992-2017 a livello annuale e nelle diverse stagioni. Tali andamenti sono stati interpolati linearmente: il coefficiente di determinazione e la pendenza di tutte le rette interpolanti sono riportate in legenda.

Si nota come l'incremento medio (pendenza) risulti positivo (e con un  $r^2$  elevato) a livello annuale, in primavera, in estate e in autunno. Al contrario, in inverno non si nota un trend significativo.

Infine, nelle figure 6 e 7 si riportano gli andamenti delle temperature medie della stazione meteorologica sita sul Monte Zoncolan, a 1750 m slm, nel periodo 1993-2017, sia a livello annuale che nelle diverse stagioni.

Anche in questo caso si nota come l'incremento medio (pendenza) risulti positivo (e con un  $r^2$  elevato) a livello annuale, in primavera, in estate e in autunno. Al contrario in inverno non si trova mai un trend superiore a  $0.1\text{ }^\circ\text{C}$  ogni 10 anni, tranne che per l'inverno misurato dalla stazione di Udine.

Inoltre, si può osservare che l'andamento dello zero termico e l'andamento della temperatura media sul Monte Zoncolan sono del tutto comparabili tra loro.

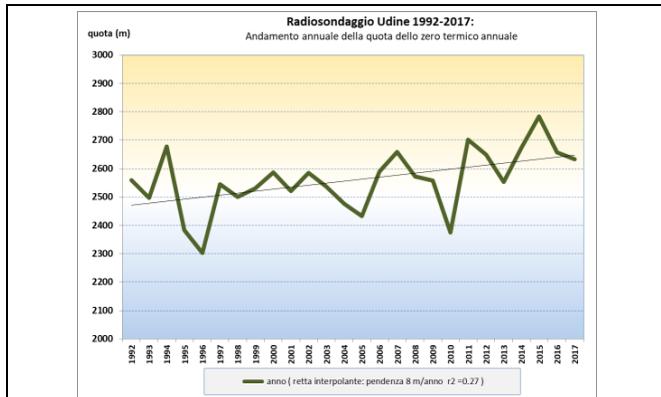


Fig. 4 – Radiosondaggio di Udine 1992-2018: Andamento delle quote medie annuali dello zero termico. In legenda si riportano il coefficiente di determinazione e la pendenza della retta interpolante

Fig. 4 – Udine radio-sounding 1992-2018: Trend of the average annual thermal zero height. The legend shows the coefficient of determination and the slope of the interpolating line

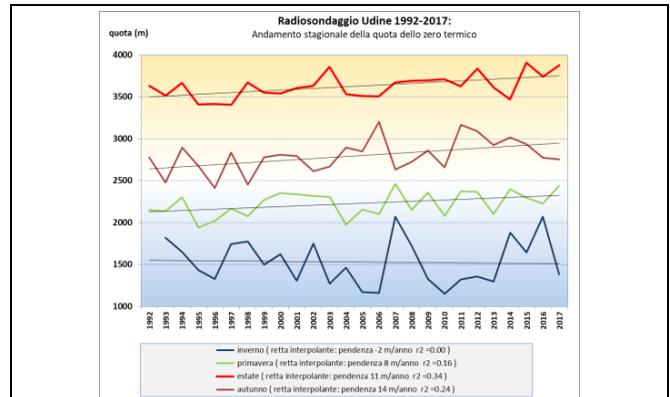


Fig. 5 – Radiosondaggio di Udine 1992-2018: Andamento delle quote medie stagionali dello zero termico. In legenda si riportano i coefficienti di determinazione e le pendenze delle rette interpolanti.

Fig. 5 – Udine radio-sounding 1992-2018: Trend of the average seasonal thermal zero height. The legend shows the coefficient of determination and the slope of the interpolating line

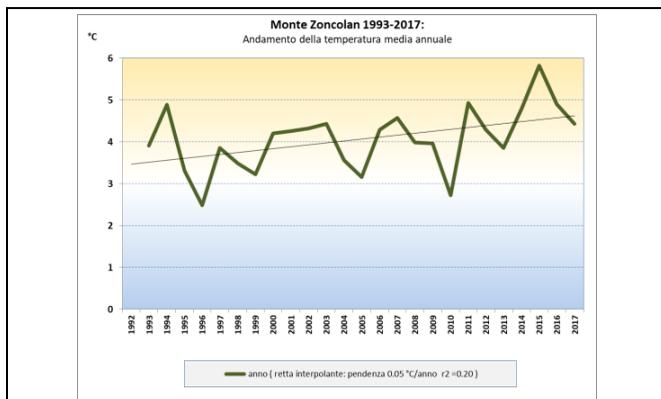


Fig. 6 – Monte Zoncolan 1993 -2017 Andamento delle temperature medie annuali. In legenda si riporta il coefficiente di determinazione e la pendenza della retta interpolante

Fig. 6 – Zoncolan Mount 1993 -2017: Trend of the average annual temperatures. The legend shows the coefficient of determination and the slope of the interpolating line

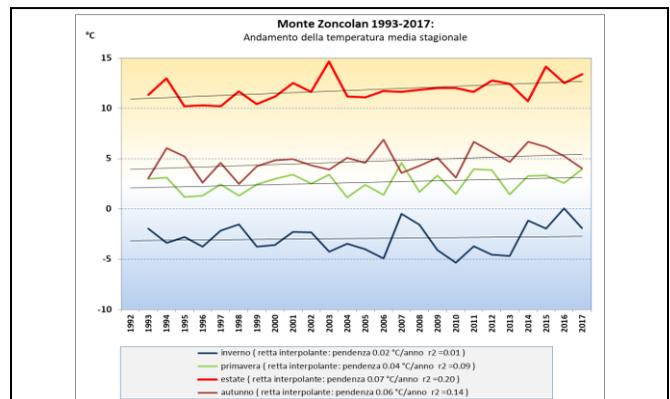


Fig. 7 – Monte Zoncolan 1993 -2017: Andamento delle temperature medie stagionali. In legenda si riportano i coefficienti di determinazione e le pendenze delle rette interpolanti

Fig. 7 – Zoncolan Mount 1993 -2017: Trend of the average seasonal temperatures. The legend shows the coefficient of determination and the slope of the interpolating line

## **Conclusioni**

Un primo risultato che si evidenzia in questo breve lavoro, è che effettivamente l'incremento medio della temperatura al suolo, registrato negli ultimi decenni in Friuli Venezia Giulia, trova riscontro anche nelle misurazioni in quota, sia nello strato limite planetario (850 hPa) che nella libera atmosfera (500 hPa).

Per i dati a terra, come per quelli in quota l'incremento medio (pendenza) risulta positivo (e con un  $r^2$  elevato) a livello annuale, in primavera e in estate.

Al contrario, in autunno e inverno non si notano trend significativi (Fig. 1 e Fig. 3).

In quota l'incremento medio annuale (pendenza) risulta più elevato al livello isobarico di 850 hPa cioè quello dentro allo strato limite planetario. In effetti, a livello annuale, la pendenza della retta interpolante delle anomalie termiche per tale livello è vicina a quella per i dati a terra, ovvero 0.03 °C/anno.

A differenza di ciò, non si notano trend significativi sulle altezze geopotenziali delle quote dei tre livelli isobarici (Fig. 2).

Le figure 4 e 5 illustrano come la quota dello zero termico presenti un trend positivo e significativo a livello annuale e stagionale, con l'esclusione dell'inverno.

Infine, come è logico aspettarsi, si nota come questi ultimi andamenti sembrino molto simili all'andamento delle temperature medie annuali e stagionali di una stazione di vetta come quella del Monte Zoncolan (Fig. 6 e 7).

## **Ringraziamenti**

Si ringrazia l'Aeronautica Militare Italiana che ha fornito i dati ad alta risoluzione dei radiosondaggi di Udine.

## **Bibliografia**

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

ARPA FVG, 2018. Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia. [http://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/01\\_REPORT\\_cambiamenti\\_climatici\\_e\\_impatti\\_per\\_il\\_FVG/impattiCCinFVG\\_marzo2018.pdf](http://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/01_REPORT_cambiamenti_climatici_e_impatti_per_il_FVG/impattiCCinFVG_marzo2018.pdf)

# L'UTILIZZO DI TELEGRAM NELLA DIFFUSIONE DEI SERVIZI INFORMATIVI AGROMETEOROLOGICI DELLA REGIONE LIGURIA

## THE USE OF TELEGRAM IN THE DISSEMINATION OF AGROMETEOROLOGICAL INFORMATION SERVICES OF LIGURIA REGION

Stefano Pini<sup>1</sup>\*, Simona Federici<sup>1</sup>, Massimiliano Ghironi<sup>1</sup>, Andrea Guardavilla<sup>1</sup>, Lorenzo Sassi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CAAR– Centro Agrometeorologia Applicata Regionale, Loc. Pallodola, 19038, Sarzana (La Spezia)

\*caarservizi@regione.liguria.it

### Abstract

Regione Liguria (Sector for Agricultural Enterprises and Floriculture Services) has predisposed a new system for the broadcasting of technical and agrometeorological informations to support oliviculture and viticulture's integrated management. The core of this new system is CAARserviziBot, a function available on Telegram Messenger, a well known instant messaging app; this bot permits fruition of informative material produced by the Center for Applied Agrometeorology of Regione Liguria (CAAR).

To log to this free service and to be able to subscribe to all the different options and data, you need to download Telegram on your device (both desktop or mobile) and search for CAARserviziBot; then you'll be able to access to the following informative notifications: up-to-date informative bulletins; technical sheets, legally admitted phytosanitary products, disciplinaries for integrated crop production; agronomically useful weather forecasts (i.e. severe hot or cold temperatures, snowfall, rain, strong wind); phenology and infection's risk, pathologies infestation's risk as outputs to model simulations.

CAARserviziBot, taking advantage of the ever growing spread of Telegram Messenger and its characteristics of being a programmable and multiplatform software, permits access to a vast range of continuously updated informations.

### Parole chiave

Telegram, Agrometeorologia, Comunicazione, Servizi informativi agricoli

### Keywords

Telegram, Agrometeorology, Communication, Informative Agricultural Services

### Introduzione

Il Centro di Agrometeorologia Applicata Regionale (CAAR) è un centro servizi pubblico di supporto tecnico-specialistico, rivolto al settore agro-ambientale. Esso afferisce al Dipartimento Agricoltura, Turismo, Formazione e Lavoro - Settore Servizi alle Imprese Agricole e Florovivaismo della Regione Liguria.

Le attività del CAAR si inseriscono all'interno dei programmi regionali dedicati a olivicoltura e viticoltura, e consistono nella fornitura di numerosi prodotti informativi agli utenti del settore (agricoltori, tecnici...).

Tra i prodotti informativi principali si evidenziano:

- **Bollettino agrometeo**, che fornisce il quadro meteo-climatico regionale delle ultime due settimane, con l'elaborazione di alcuni indici agroclimatici, l'analisi di eventuali fenomeni meteorologici eccezionali e le relative influenze sulle colture (vite e olivo).
- **Bollettino olivo**, che fornisce un'informazione capillare e aggiornata sulla situazione fenologica e fitopatologica dell'olivo e relative strategie di difesa.
- **Bollettino vite**, documento d'informazione rivolto ai viticoltori, corredato di approfondimenti tecnici su gestione agronomica e difesa fitosanitaria.

- **Consiglio irriguo**, che consiste nell'elaborazione di mappe che rappresentano il deficit o il surplus idrico, utili per la gestione della risorsa acqua e la prevenzione di eventuali danni alle colture. Nello specifico viene stimata la quantità di acqua da somministrare ad ogni pianta (di vite e/o di olivo), nella settimana in corso (durante il periodo estivo), sulla base di un modello di bilancio idrico che calcola l'ETP0 utilizzando l'equazione di Penman-Monteith per alcune stazioni meteo e di Hargreaves-Samani per altre.

Molti di questi prodotti sono consultabili online sui siti <http://www.agriligurianet.it/it/> o <https://sia.regione.liguria.it/> e sui social network (Facebook/agriligurianet e Twitter @caarservizi), oppure sono ricevibili tramite e-mail o WhatsApp.

Nel corso del 2018, è stato aggiunto un nuovo sistema di comunicazione delle informazioni, in grado di gestire le richieste degli utenti in modo semplice e veloce: CAARserviziBot, un **bot di Telegram**.

## Materiali e Metodi

Telegram è un'applicazione di messaggistica istantanea gratuita basata su cloud, con delle caratteristiche tecniche peculiari come la creazione di canali informativi di uno-a-molti e altre specifiche funzionalità.

Una caratteristica importante di Telegram è l'integrazione nell'app dei bot, ovvero applicazioni programmabili in grado di gestire chat istantanee e automatiche che interagiscono con le richieste digitate dall'utente, seguendo specifici e predeterminati comandi (Filinesi Skrypnyk, 2016).

Esistono diverse tipologie di bot, nel nostro caso ne è stato creato uno che permette all'utente di accedere a informazioni tecniche specifiche: **CAARserviziBot**.

Per la programmazione del bot è stato utilizzato il linguaggio PHP supportato dal database MySQL gestito tramite phpMyAdmin.

```
52 while($row= mysql_fetch_assoc($risultato)) {
53
54 $ultimora = $row['ultimora'];
55
56 $agrometeo = $row['agrometeo'];
57
58 $geolivo = $row['ge_olivo'];
59 $geolivobio = $row['ge_olivobio'];
60 $gevite = $row['ge_vite'];
61
62 $imolivo = $row['im_olivo'];
63 $imolivobio = $row['im_olivobio'];
64 $imvite = $row['im_vite'];
65
66 $agro = $row['agro'];
67
68 $svolivo = $row['sv_olivo'];
69 $svolivobio = $row['sv_olivobio'];
70 $svvite = $row['sv_vite'];
71
```

Fig.1 - Estratto del codice di CAARserviziBot (Linguaggio di programmazione PHP)

Fig.1- Extract of CAARserviziBot code (PHP programming language)

La parte di modellazione invece è stata scritta in VisualBasic all'interno di un database Microsoft Access.

## Risultati e Discussione

Per usufruire del servizio e poter consultare i dati o iscriversi alle opzioni disponibili, l'utente deve scaricare sul proprio dispositivo l'app Telegram e ricercare CAARserviziBot e dare l'avvio (soltanto la prima volta) (Fig. 2).

Dopodiché, compare una tastiera in cui l'interessato potrà consultare i servizi informativi riguardanti:

- gli ultimi bollettini informativi emessi (Olivo, Olivo BIO, Vite, Agrometeo);
- le schede tecniche relative alle avversità di vite e olivo, i disciplinari di difesa integrata e i prodotti fitosanitari ammessi.

E' inoltre possibile iscriversi, accedendo alla sezione Info agrometeo, ai servizi informativi individuali a richiesta ed inerenti:

- la previsione di eventi meteorologici rilevanti agronomicamente (caldo o freddo intenso, neve, pioggia, vento forte) nelle successive 36 ore, sulla base del modello MOLOCH;
- la fenologia della vite e dell'olivo e il rischio di infezione o infestazione per alcune avversità, secondo la simulazione di appositi modelli (es: peronospora della vite, mosca dell'olivo, ecc.)
- il quantitativo di acqua da somministrare a vite e olivo durante la stagione estiva (secondo la metodologia del bilancio idrico e della tecnica di irrigazione in deficit, che ben si presta sia alle esigenze delle colture in esame che alle esigenze ottimizzare l'utilizzo dell'acqua in un periodo critico come quello estivo).



Fig.2 - Schermata di avvio di CAARserviziBot  
Fig.2- Screenshot of CAARserviziBot's startup

L'utente che ha avviato CAARserviziBot, riceverà anche le notifiche relative all'emissione dei bollettini o alla disponibilità di nuovi contenuti informativi (Fig. 3).

## Conclusioni

L'applicazione CAARserviziBot di Telegram per la diffusione delle informazioni relativamente a processi e fenomeni in ambito agricolo ha già riscosso un discreto interesse, con utenti in costante crescita.

Lo strumento del bot si è rivelato una valida integrazione ad altri sistemi di diffusione delle informazioni o una vera e propria alternativa a servizi a pagamento come gli SMS, sia per la capacità di personalizzazione che per l'adattabilità alle specifiche e mutevoli esigenze.



# MIDTERM BEHAVIOUR OF SURFACE LAYER AND SOIL PARAMETERS IN SELECTED PIEDMONTESE VINEYARDS

## COMPORAMENTO A MEDIO TERMINE DEI PARAMETRI DEL SUOLO IN ALCUNI VIGNETI PIEMONTESI SELEZIONATI

Claudio Cassardo<sup>1\*</sup>, Valentina Andreoli<sup>1</sup>, Simone Falzoi<sup>1</sup>, Tiziana Laiacona<sup>2</sup>, Federico Spanna<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, University of Torino, Italy

<sup>2</sup> Phytosanitary Service, Regione Piemonte, Torino, Italy

### Abstract

The land surface model UTOPIA (University of TORino model of land Process Interaction with Atmosphere), developed by one of the authors and widely used to diagnose the micrometeorological processes of agricultural areas, has been used in this work for studying the behavior of some parameters related to surface layer and soil in presence of vineyards. In particular, long term simulations (17 years, from 2002 to 2018) have been performed using the UTOPIA (University of TORino model of land Process Interaction with Atmosphere). As boundary conditions, the observations gathered by a selection of stations belonging to the agrometeorological network located close to some Piedmontese vineyards have been selected. The presentation will show a summary of the main trends of the principal variables analyzed (turbulent heat fluxes, evapotranspiration, soil temperature and moisture).

### Keywords

UTOPIA; hydrological budget; soil temperature; soil moisture; vineyards

### Parole chiave

UTOPIA; bilancio idrologico; temperature del suolo; umidità del suolo; vigneti

### Introduction

Climate and meteorology are critical natural factors influencing agriculture production, therefore the analysis of environmental variables can constitute an interesting object in order to characterize the crop growth processes.

Numerical models can estimate environmental conditions in specific sites. Among the models, those including soil-vegetation-atmosphere transfer processes, generically named land-surface models, or SVATs (Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer schemes), can estimate micro-meteorological conditions simulating hydro-energetic and gas exchange processes in the thin atmospheric layer above soil and vegetation (surface boundary layer).

Several studies were already performed with the aim of improving the knowledge of many crop agro-ecosystem and infer their micro-meteorological conditions. In particular, concerning the more important wine areas of Piemonte region, exchange processes were explored in three vineyards located on hills of Monferrato, Langhe and Roero, by means of measurements and numerical simulations carried out with a third generation land-surface model (Francone et al., 2012) adapted for agrometeorological purposes (Cassardo, 2006; Cassardo, 2015). Energy fluxes were also estimated from sloping crops by Rana et al. (2007). Evapotranspiration in vineyards was estimated by Gonzalez-Dugo et al. (2012) by means of method of energy balance model. Among all the micro-meteorological parameters, soil moisture and temperature are recognized to affect the turbulent heat fluxes and then the atmospheric stability, as well as the crop physiology. For this reason, their evaluation or measurement can give interesting indices of plant status and yield quality.

Unfortunately, long term measurements of soil temperature and moisture in the root zone are almost always not available. In this study, simulations over the second millennium period on the most important Piedmontese wine regions have been carried out by means of a third generation land-surface model, UTOPIA (University of TORino model of land Process Interaction with Atmosphere) (Cassardo, 2015). Among the results of simulations, variables related to the soil conditions will be here discussed.

### Materials and Methods

The UTOPIA model is a third generation land-surface model, formerly named as Land Surface Process Model (LSPM) (Cassardo, 1995; Cassardo, 2006). It is a diagnostic one-dimensional model (it works on a single point in which the only direction allowed is the vertical one) and can be used in stand-alone way or coupled with atmospheric circulation or climate models. UTOPIA studies the interactions at the interface between atmospheric surface layer, vegetation and soil, and can be categorized as a big leaf model, e.g. a single vegetation element contributing to the various processes is considered independently on its real extension. The soil variables are calculated using a multilayer scheme. Energy exchanges are evaluated using a resistance network depending on the surface type. The model evaluates momentum, heat and water vapour fluxes, soil energy and hydrological components, photosynthetic processes and carbon budget.

The simulations have been performed in fifteen locations (Table 1) close to some renowned vineyards displaced in the most important wine areas of Piemonte region: Langhe, Roero, Monferrato, and Alto Piemonte. The database of

meteorological observations (air temperature, humidity and pressure; wind speed and direction; solar radiation; precipitation) has been prepared using data belonging to observing stations belonging to the Agrometeorological regional network and the meteohydrological network of Piemonte Region (ARPA Piemonte). When data were missing, special interpolation procedure were performed, using the nearest station data and a mix of spline and linear interpolations. The interpolated data have then been reshaped in order to avoid jumps between observed and interpolated data. At the end of the preprocessing procedure, the database includes data in the complete period 2002-2018, for a total of 17 years. The temporal resolution of the database is of one hour. Vegetation parameters involved in the routines of UTOPIA model have been initialized by means of values optimized for vineyards vegetation type. The soil variables have been initialized, in the nine soil layers considered in UTOPIA model, by using two empirical equations accounting for the soil type, the air temperature, the soil depth and the Julian day.

This paper presents the very preliminary results of the 17-years simulations carried out over the above mentioned locations. To this end, a selection of the UTOPIA output variables will be considered. Due to the impossibility of presenting a plot with daily or monthly variations, two tables (Tables 2 and 3) containing the trends of those variables will be examined.

*Tab. 1 – List of Piedmontese stations considered in this paper.*

*Tab. 1 – Elenco delle stazioni piemontesi usate in questo lavoro*

Station	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m a.s.l.)
Barbaresco	44.7178	8.0839	287
Barolo	44.5989	7.9489	362
Canale	44.8056	7.9944	264
Carpeneto	44.6817	8.6233	291
Casterboglione	44.7461	8.3871	275
Castiglion Falletto	44.6285	7.9761	306
Coazzolo	44.7214	8.1658	240
Coastigliole d'Asti	44.7845	8.1659	256
Dogliani	44.5507	7.9513	421
Ghemme	45.6050	8.4248	295
La Morra	44.6236	7.9394	314
Neive	44.7179	8.1352	276
Nizza Monferrato	44.7578	8.3370	177
Probesi	44.7324	7.9882	223
Santo Stefano Belbo	44.6953	8.2297	334

## Results and Discussion

The following variables have been examined: net radiation, sensible and latent heat flux, temperature of the vegetation, and surface soil temperature and moisture, deep root-zone temperature and moisture, and deep soil temperature and moisture, where the soil moisture has been expressed as saturation ratio (e.g. the ratio among the volumetric soil

water content, expressed in  $m^3_{\text{water}} m^{-3}_{\text{soil}}$ , and the porosity, expressed in the same unit).

*Tab. 2 – time trends evaluated on the entire 17-years period of the following variables: net radiation (NR, in  $W m^{-2}$ ), sensible (SHF, in  $W m^{-2}$ ) and latent (LHF, in  $W m^{-2}$ ) heat flux, temperature of the vegetation (TF, in  $^{\circ}C$ ), surface soil temperature (T1, in  $^{\circ}C$ ) and moisture (SR1, in  $m^3_{\text{water}} m^{-3}_{\text{void}}$ ), deep root-zone temperature (T5) and moisture (SR5), and deep soil temperature (T9) and moisture (SR9), where moisture has been expressed as saturation ratio. Values refer to some stations in Piemonte region (see Tab. 1).*

*Tab. 2 – andamenti calcolati sull'intero periodo di 17 anni delle seguenti variabili: radiazione netta (NR, in  $W m^{-2}$ ), flusso di calore sensibile (SHF, in  $W m^{-2}$ ) e latente (LHF, in  $W m^{-2}$ ), temperatura della vegetazione (TF, in  $^{\circ}C$ ), temperatura (T1, in  $^{\circ}C$ ) e umidità (SR1, in  $m^3_{\text{water}} m^{-3}_{\text{void}}$ ) superficiale del suolo, temperatura (T5) e umidità (SR5) delo strato profondo delle radici, e temperatura (T9) e umidità (SR9) del suolo profondo, dove l'umidità è stata espressa in rapporto di saturazione. I valori si riferiscono ad alcune stazioni piemontesi (v. Tab. 1).*

var	Barbaresco	Barolo	Canale	Carpeneto	Castel boglione	Castiglion Falletto	Coazzolo	Costigliole d'Asti
NR	2.13	9.83	13.31	9.07	8.53	9.79	13.84	6.72
SHF	8.67	10.21	6.10	12.08	1.70	11.97	9.53	-0.45
LHF	-4.92	0.20	9.30	-1.55	7.35	-1.28	6.24	8.18
TF	1.47	1.82	1.80	1.73	1.17	1.58	3.33	0.69
T1	1.43	1.95	2.56	1.87	1.34	1.67	3.56	0.74
T5	2.14	2.58	3.12	2.20	1.79	2.09	4.02	1.36
T9	1.77	0.65	3.04	0.61	0.82	1.30	2.16	-1.61
SR1	-0.018	-0.018	-0.014	-0.017	-0.008	-0.030	-0.002	0.036
SR5	-0.005	-0.019	-0.014	0.001	-0.010	-0.027	0.009	0.048
SR9	-0.068	-0.035	-0.036	-0.018	-0.024	-0.039	-0.039	-0.063

The inspection of those very preliminary results reveals some remarkable behavior (Tab. 2 and 3, in which the trend is evaluated over the entire 17-years period). Net radiation increases in almost all sites (but Neive) with an average value of about  $10 W m^{-2}$ , showing a positive trend often statistically significant, despite the large annual variability of the signal (not shown). Comparing sensible and latent heat fluxes, the former show a variation slightly smaller than that of net radiation (an average value of about  $9 W m^{-2}$ ), while the latent heat flux variations are smaller (the mean value is about  $3 W m^{-2}$ ) and sometimes almost negligible. A remarkable trend is present in the vegetation temperature, which shows an increment of about  $1.8 ^{\circ}C$  in the whole period, which looks quite high. Also soil temperature shows noticeable increments in the root layer zone (more than  $2 ^{\circ}C$  of increment), which propagates slowly also in the deepest layer (about  $1.4 ^{\circ}C$  of increment at about 7 m underground). This behavior shows that the annual thermal wave due to the climate change has already propagated also to the deeper soil layers. On the contrary, soil moisture (here expressed as soil saturation ratio SR, in which a soil

completely saturated possess a SR close to 1) show almost negligible and statistically not significant variations, generally prevailing negative, especially in the bottom soil layer, that is the layer in which the trends are larger.

*Tab. 3 – Same as Tab. 2 but for other Piedmontese stations (see Tab. 1).*

*Tab. 3 – come Tab. 2 ma per le altre stazioni piemontesi (v. Tab. 1).*

var	Dogliani	Ghemme	La Morra	Neive	Nizza	Piobesi	S. Stefano Belbo	AVERAGE
NR	18.21	14.77	12.42	-6.12	10.74	21.49	11.10	10.39
SHF	16.97	16.99	11.18	-6.39	7.84	17.08	6.51	8.67
LHF	2.19	-0.86	1.83	0.53	4.00	5.84	4.88	2.79
TF	1.94	1.89	2.34	1.67	1.38	2.50	1.33	1.78
T1	2.30	2.26	2.96	1.80	1.62	3.24	2.36	2.11
T5	2.84	2.70	3.29	2.21	2.20	3.79	2.90	2.62
T9	1.07	1.29	2.97	0.39	0.87	3.61	1.78	1.38
SR1	0.017	0.003	-0.013	0.012	-0.004	0.022	0.012	-0.002
SR5	0.022	0.012	-0.012	0.013	0.004	0.024	0.018	0.004
SR9	-0.043	-0.016	-0.023	-0.038	-0.033	-0.007	-0.021	-0.034

## Conclusions

The preliminary inspection of the simulations performed with UTOPIA in the fifteen stations located close to the vineyards in a recent period of 17 years shows that, despite the period too short for a real climatological analysis, there are some remarkable trends of some variables. Temperature of vegetation and soil shows a noticeable increment well correlated both with the increment of air temperature (not shown) and net radiation. The larger values in the energy budget input (net radiation) produce mostly an increment of sensible heat flux, while latent heat flux (a variable related to the evapotranspiration) seems more stable. This is confirmed by the almost negligible variations of soil moisture in the root layer zone. Thus the larger amount of radiation is mostly used to warm air, vegetation and soil

surface, and the vineyards seem unable to significantly increase the evapotranspiration. Further analyses on the correlations among input and output variables are required to get more quantitative answers on the effect of climate change on Piedmontese vineyards environment, but these results already indicate the presence of some mechanisms of the changing climate on the variables that mostly affect the vine growth and its production.

## References

- Cassardo C., Ji J. J., and Longhetto A., 1995. A study of the performance of a land surface process model (LSPM). *Bound.-Layer Meteor.*, 72: 87-121
- Cassardo C., 2006. The Land Surface Process Model (LSPM) Version 2006. Tech. Rep. DFG Report - 01/2006, Dipartimento di Fisica Generale Amedeo Avogadro, Torino, Italy, 62 pp.
- Cassardo C., 2015. The University of TORino model of land Process Interaction with Atmosphere (UTOPIA) Version 2015. Tech. Rep., CCCPR/SSRC-TR-2015-1, CCCPR/SSRC, Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea, 80 pp.
- Francone C., Katul G., Cassardo C., Richiardone R., 2012. Turbulent transport efficiency and the ejection-sweep motion for momentum and heat on sloping terrain covered with vineyards. *Agricultural and Forest Meteorology*, 162-163: 98-107
- Gonzalez-Dugo M.P., Gonzalez-Piqueras J., Campos I, Balbontin C., Calera A., 2012. Estimation of surface energy fluxes in vineyard using field measurements of canopy and soil temperature. Remote sensing and hydrology (proceedings of a symposium held at Jackson Hole, Wyoming, USA September 2010, IHAS Publ. 352)
- Rana G., Ferrara R.M., Martinelli N., Personnic P., Cellier P., 2007, Estimating energy fluxes from sloping crops using standard agrometeorological measurements and topography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 146 : 116 – 133