

Atti del XXIII Convegno Nazionale di Agrometeorologia

Agricoltura 4.0 e cambiamento climatico: il ruolo dell'Agrometeorologia

On-line 30 giugno – 2 luglio 2021

A cura di Francesca Ventura, Giovanni Maria Poggi

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari
Università di Bologna



ISBN 9788854970564

DOI <http://doi.org/10.6092/unibo/amsacta/6713>

Comitato scientifico

Francesca Ventura

Federica Rossi

Filiberto Altobelli

Miriam Carmen Beltrano

Anna Dalla Marta

Emanuele Scalcione

Federico Spanna

Domenico Ventrella

Comitato organizzatore

Giovanni Dal Monte

Chiara Epifani

Stanislao Esposito

Giovanni Maria Poggi

Antonella Pontrandolfi

Segreteria organizzativa

Simone Falzoi

Tiziana La Iacona

Irene Vercellino

Foto di copertina: Graziano Lampa

Bologna, 2021



Atti del XXIII Convegno Nazionale di Agrometeorologia

Agricoltura 4.0 e cambiamento climatico: il ruolo dell'Agrometeorologia

On-line 30 giugno – 2 luglio 2021

A cura di Francesca Ventura, Giovanni Maria Poggi

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari
Università di Bologna



Agricoltura 4.0 e cambiamento climatico: il ruolo dell'Agrometeorologia

Sessione 1 - Agricoltura di precisione e gestione delle risorse naturali

Cambiamenti climatici e strategie di adattamento nell'agricoltura marchigiana <i>Leonesi S., Tognetti D.</i>	1
Potenziamento di stazioni agro-meteorologiche monitorando l'umidità del suolo su ampia scala con innovativi sensori non invasivi <i>Gianessi S., Polo M., Stevanato L., De Feudis M., Tomei F., Gandolfi C., Parravicini P., Grimaldelli R., Cazzuli O., Baroni G.</i>	5
Cambiamenti climatici: efficacia di mitigazione dei sistemi cerealicoli nel progetto PSR-SFOF della Regione Puglia <i>Ventrella D., Garofalo P., Bregaglio S.M., Ferrara R.M., Lagomarsino A., Campobasso I., Giglio L., Vonella A.V., Vitti C., Fornaro F., Mastrangelo M., Moscelli S.</i>	9
Strategie per un miglioramento della resa e dell'efficienza d'uso dell'acqua in lattuga (<i>lactuca sativa</i> L.) attraverso un'accurata gestione dell'irrigazione nel clima mediterraneo <i>Michelon N., Battista L.P., Fellin L., Pennisi G., Orsini F., Gianquinto G.</i>	13

POSTERS

Supporto alla concimazione azotata sito-specifica: soluzioni empiriche o meccanicistiche? – risultati di una ricerca bibliografica <i>Corti M., Fassa V., Bechini L.</i>	18
Progetto GECO2: un modello per il bilancio sostenibile del carbonio <i>Giari F., Volta A., Villani G., Marotta L., Tomei F., Cinti A., Carlino U., Ventura F.</i>	21
POSITIVE: un progetto di irrigazione intelligente per l'agricoltura 4.0 <i>Ventura F., Vignudelli M., Poggi G. M., Letterio T., Anconelli S.</i>	26
Valutazione di nuove tecnologie per il monitoraggio dello stato idrico in vigneto <i>Lo Cascio M., Mameli M. G., Satta D., Fernandes de Oliveira A., Barbaro M., Loddo S., Noun G., Marras S., Spano D., Sirca C.</i>	30

Sessione 2 - Modellistica agrometeorologica e salute delle piante

Sviluppo di un algoritmo per la segmentazione automatica di modelli 3D di piante:

un'applicazione pratica di fenotipizzazione in condizioni di stress

Rossi R., Costafreda-Aumedes S., Leolini L., Leolini C., Bindi M., Moriondo M......31

Previsione della data di germogliamento della vite per la difesa dalle gelate nella zona DOC Friuli Colli Orientali

Cicogna A., Gallina V., Sivilotti P., Degano F., Cisilino D......36

Irrigazione in modelli atmosferici di previsione e il suo impatto sul sistema terrestre

Valmassoi A., Dudhia J., Keller J.D......40

MISFITS: un'alleanza in ambito pubblico per realizzare servizi previsionali fitopatologici operativi

Bregaglio S., Gruppo Misfits.....44

Impatti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura piemontese

Loglisci N., Barbarino S., Smorlesi L., Pelosini R......50

Trend pollinici: correlazioni con le variabili climatiche nelle Marche

Tognetti D., Bartolacci S., Leonesi S., Trobiani N......56

La reanalisi di cosmo-rea6 mostra errori sistematici dovuti alla mancata rappresentazione dell'irrigazione?

Rosell C., Keller J., Valmassoi A., Friederichs P......61

L'agricoltura biologica è rispettosa dell'ambiente in nord Europa?

Valkama E., Perego A., Acutis M......65

Evoluzione del rischio gelate tardive in Emilia-Romagna

Antolini G., Pavan V., Praticcoli W., Villani G......69

Sessione 3 - Sistemi e strumenti di elaborazione e divulgazione delle informazioni

Percezione dei rischi climatici da parte dei viti-vinicoltori italiani e loro livello di adattamento al Cambiamento Climatico

Chieco C., Tadić S., Morrone L., Magli M., Pedò S., Battistel G.A., Zulini L., Rossi F., Eccel E......72

Produzione di mappe meteo-climatiche della Basilicata per il potenziamento dei servizi all'agricoltura: analisi preliminare della rete

Lanfredi M., Coluzzi R., Imbrenda V., Scalcione E......77

Dati di precipitazione da stazioni meteo amatoriali per l'agricoltura urbana nella città di Roma

Altobelli F., Cecilia A., Serafini G., Martelli A., Dalla Marta A......82

Progetto SERIA- Servizi operativi innovativi per l'applicazione delle tecniche di produzione agricola integrata e biologica

*Spanna F., La Iacona T., Cressano G., Vercellino I., Alemanno L., Rusco M., De Marziis M., Berra L., Bontà M., Pettiti F., Forni E. G., Falzoi S.....*86

GEOSAFE – Un database agro-climatico italiano a fini assicurativi

*Cola G., Mariani L., Pasetti N., Georgiadis T., Rossi F.....*90

POSTERS

Informazioni agro-meteo per la fertilizzazione organica nel bacino padano-veneto

*Sarno G., Ferronato C., Botarelli L., Craveri L., Riparbelli C., Bassanino M., Spanna F., Vercellino I., Antolini G., Pratizzoli W., Villani G., Vanin S., Putti D., Lazzaro B., Bonini Baraldi A., Delillo I.....*94

Progetto life ADA - Adattamento in agricoltura: primi risultati delle analisi climatiche

*Villani G., Tomozeiu R., Pavan V., Antolini G., Pratizzoli W, Tomei F., Volta A., Faccioli S., Cacciamani C.....*96

CAMBIAMENTI CLIMATICI E STRATEGIE DI ADATTAMENTO NELL'AGRICOLTURA MARCHIGIANA

CLIMATE CHANGE AND ADAPTATION STRATEGIES IN AGRICULTURE IN MARCHE REGION

Stefano Leonesi, Danilo Tognetti*

ASSAM Regione Marche – Servizio Agrometeo

*tognetti_danilo@assam.marche.it

Abstract

We examined temperature and precipitation data detected by the stations of the ASSAM agrometeorological network integrated with those of the former Hydrographic Service in the period 1961-2020 to take stock of the climate change occurring in Marche region. At first, the analysis focused on ten-year data and their comparison. In the second part, the *Climpact* software package was used to generate various climate indices, always focusing on the period of 60 years.

In the face of confirmations on climate change affecting the region, with specific regard to thermal growth and the impact they are producing on Marche's agriculture, it is necessary to resort to effective adaptation strategies, some of which are as follows.

Parole chiave

Marche, precipitazione, temperatura cambiamenti climatici, strategie di adattamento

Keywords

Marche, rain, temperature, Climate Change, adaptation strategies

Introduzione

Nel lavoro abbiamo investigato i dati di temperatura e precipitazione rilevati dalle stazioni della rete agrometeorologica dell'ASSAM integrati con quelli dell'ex Servizio Idrografico nel periodo 1961-2020 per fare il punto sul cambiamento climatico in atto nelle Marche. Dapprima l'analisi si è rivolta ai dati decennali e al loro confronto. Nella seconda parte si è ricorso al pacchetto software *Climpact* per generare diversi indici climatici sempre nel sessantennio di riferimento.

A fronte delle conferme sui mutamenti climatici riguardanti la regione e sull'impatto che stanno producendo sull'agricoltura marchigiana si impone il ricorso ad efficaci

strategie di adattamento, alcune delle quali proposte.

Materiali e Metodi

L'analisi climatologica è stata condotta utilizzando i dati di temperatura e precipitazione rilevati da 14 stazioni della rete agrometeorologica ASSAM scelte come rappresentative di tutto il territorio regionale. Le serie storiche dal 1961 sono state ottenute raccordando i dati delle 14 stazioni con quelli provenienti da altrettante stazioni dell'ex Servizio Idrografico di limitrofa collocazione.

Inoltre abbiamo utilizzato il pacchetto software *Climpact*, per calcolare numerosi indici climatici sulla base dei dati di quattro stazioni scelte per rappresentare quattro contesti climatici e orografici differenti delle Marche: Urbino (entroterra nord), Agugliano (costa nord), Montefortino (entroterra sud), Montecosaro (costa sud). Il periodo dei dati preso in esame è sempre il 1961-2020.

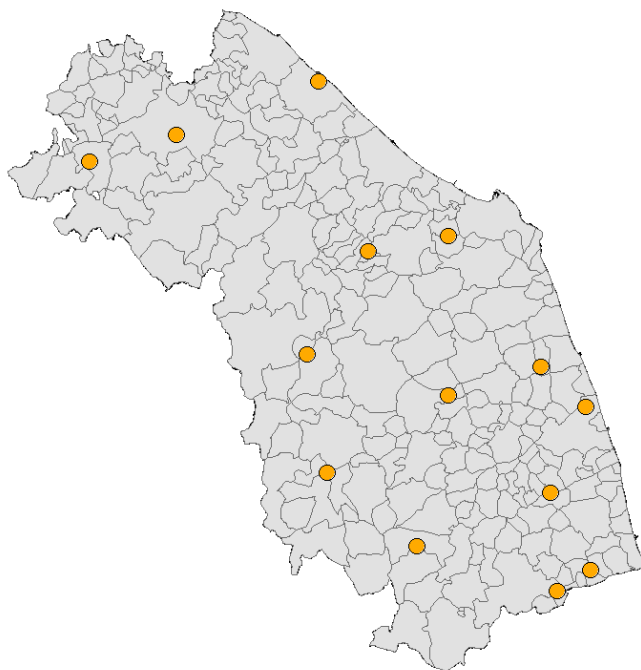


Fig. 1. Posizione geografica delle 14 stazioni ASSAM usate per la serie storica delle temperature e precipitazioni - periodo 1961-2020.

Fig.1. Geographical Map of the 14 ASSAM stations used for the temperature and precipitation measurement for the period 1961-2020.

Risultati e Discussione

Le analisi confermano anche per le Marche un evidente trend termico crescente a partire dagli anni sessanta in grado di coinvolgere l'intero territorio regionale e soprattutto la fascia costiero-collinare. Per quanto concerne le precipitazioni, sia in quantità che in numero dei giorni piovosi, emerge una tendenza generale alla diminuzione dagli anni sessanta, sebbene nell'ultimo decennio appaia un recupero.

Riportiamo nel seguito alcuni grafici prodotti allo scopo di mettere in evidenza quanto detto e riguardanti il periodo 1961-2020 e le 14 stazioni ASSAM (raccordate con quelle dell'ex Servizio Idrografico).

Evoluzione delle temperature nelle Marche

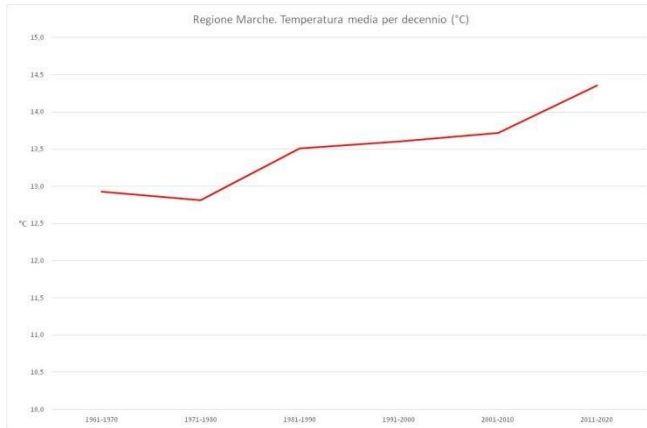


Fig. 2. Temperatura media regionale per decennio.
Fig.2. Regional average temperature per decade

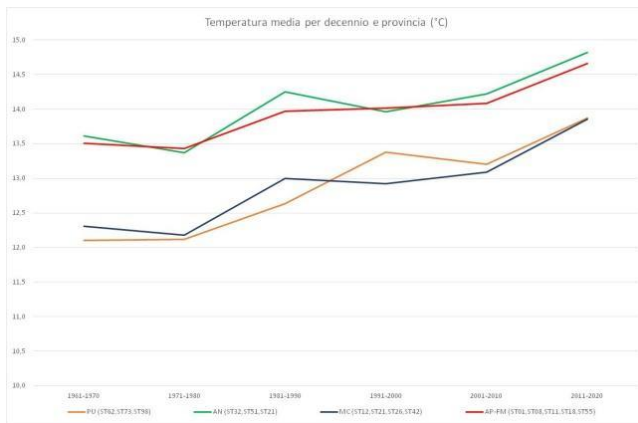


Fig. 3. Temperatura media per decennio e provincia.
Fig.3. Average temperature per decade and province.

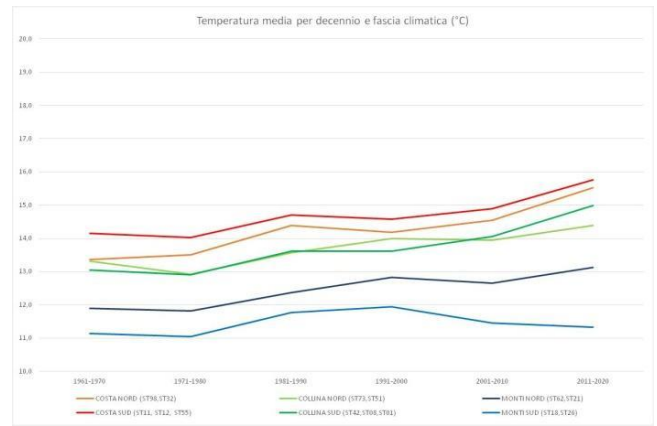


Fig. 4. Temperatura media per decennio e per fascia climatica.

Fig. 4. Average temperature per decade and climatic zone.

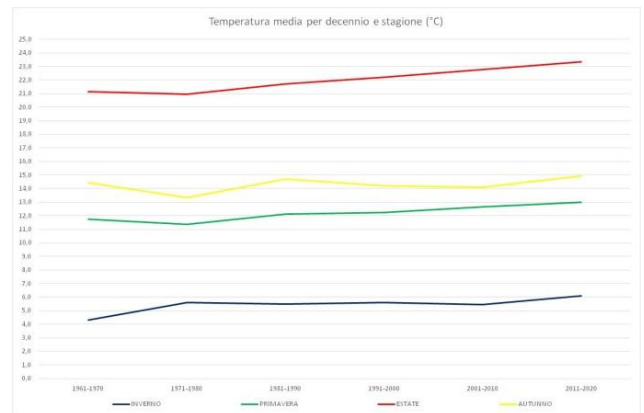


Fig. 5 – Temperatura media per decennio e provincia.

Fig. 5 - Seasonal average temperature per decade.

Evoluzione delle precipitazioni nelle Marche

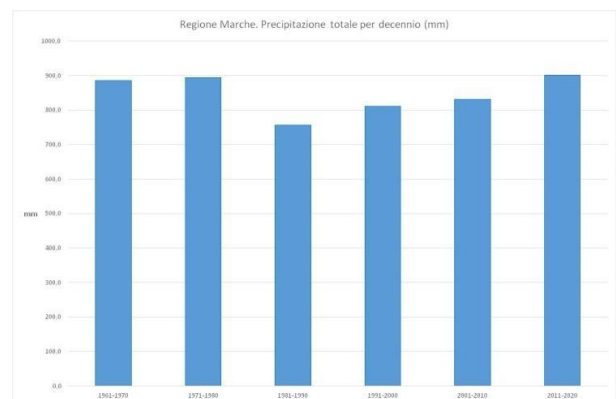


Fig. 6. Precipitazione totale regionale per decennio.

Fig. 6. Cumulative regional precipitation per decade.

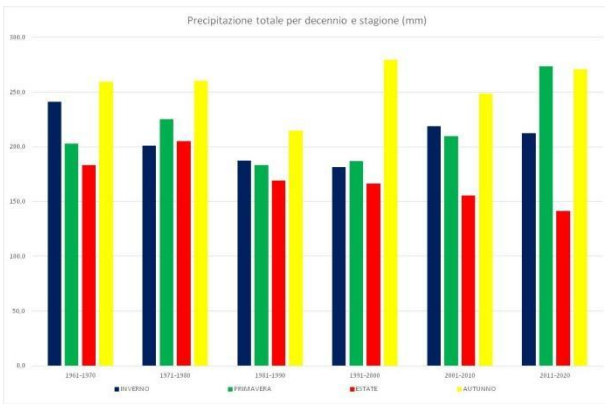


Fig. 7. Precipitazione totale regionale per decennio e stagione.

Fig. 7. Seasonal cumulative regional precipitation per decade.

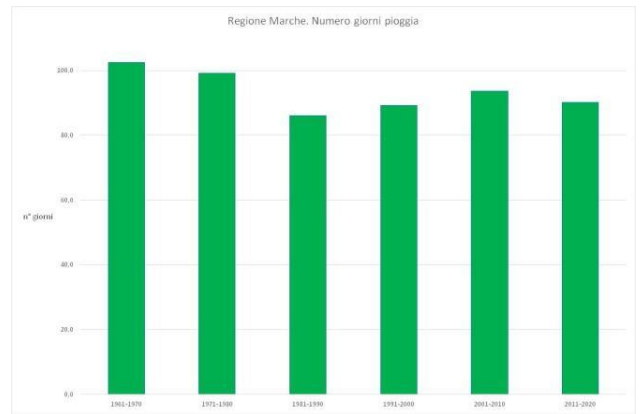


Fig. 10. Numero di giorni di pioggia (con almeno 1 mm) per decennio.

Fig. 10. Number of rainy days per decade.

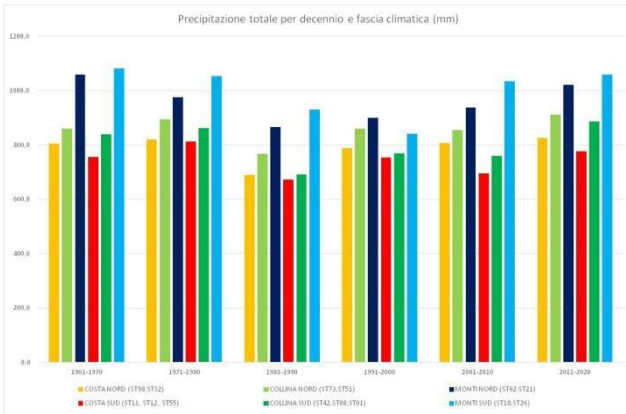


Fig. 8. Precipitazione totale per decennio e per fascia climatica.

Fig. 8. Seasonal cumulative regional precipitation per decade and climatic zone.

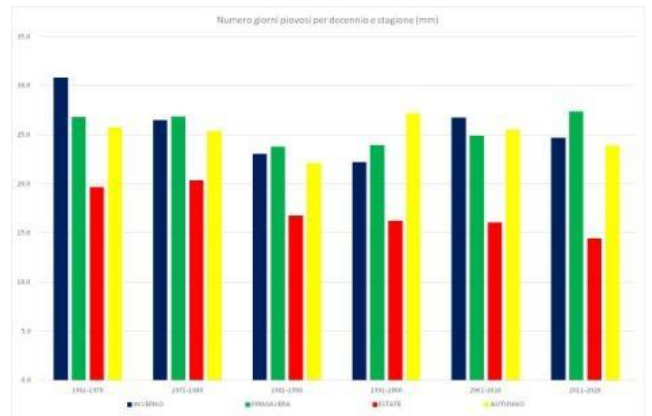


Fig. 11. Numero di giorni piovosi per decennio e stagione.

Fig. 11. Number of rainy days per decade and season.

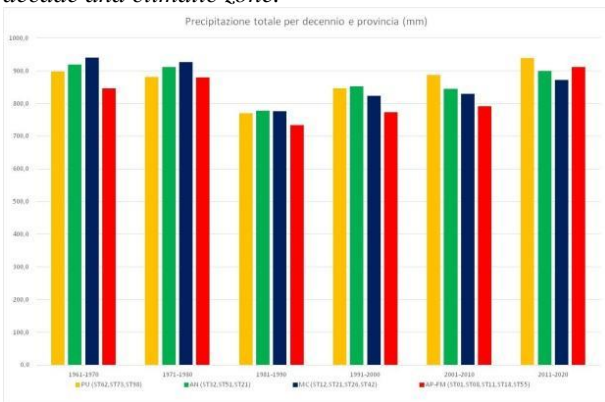


Fig. 9. Precipitazione totale per decennio e provincia.

Fig. 9. Cumulative precipitation per decade and province.

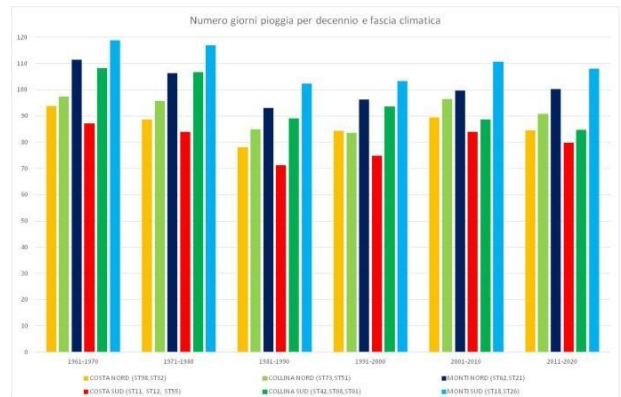


Fig. 12. Numero di giorni piovosi per decennio e fascia climatica.

Fig. 12. Number of rainy days per decade and climatic zone.

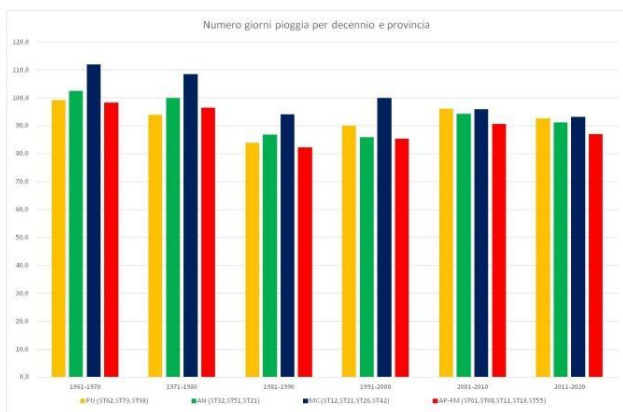


Fig. 13. Numero di giorni piovosi per decennio e provincia.
Fig. 13. Number of rainy days per decade and province.

Ora riportiamo alcune evidenze climatiche rilevate attraverso il calcolo di indici effettuato con il pacchetto software *Climpack* sulla base dei dati di quattro stazioni ASSAM scelte per rappresentare rispettivamente entroterra nord, costa nord, entroterra sud e costa sud, sempre nel periodo 1961-2020.

In sintesi:

- gli indici delle temperature confermano le tendenze al riscaldamento;
- le temperature massime (TX) sembrano assumere picchi sempre più elevati;
- i giorni particolarmente caldi tendono ad aumentare specie in estate;
- si nota un aumento delle 'notte tropicali' in estate;
- anche le temperature minime (TN) mostrano un aumento crescente, infatti tendono a diminuire i giorni di gelo e molto freddi e aumenta la durata dei periodi di giorni consecutivi molto caldi (WSDL1);
- aumenta la percentuale dei giorni con temperature massime oltre il 50° percentile (TXGT50p);
- diminuisce il numero delle notti fredde (TN10p).

Meno significativi sono i risultati che si ricavano dagli indici delle precipitazioni:

- sono le due stazioni sulla costa a mostrare qualche segnale di cambiamento in cui si intravede un aumento delle precipitazioni massime giornaliere e nei 5 giorni (RX1DAY e RX5DAY);
- per la costa nord aumenta l'incidenza delle precipitazioni giornaliere (SDII);
- segnali di aumento anche per le precipitazioni intense nei tre giorni (RX3DAY);
- sull'entroterra sud tende a diminuire lo SPEI con conseguente maggiore vulnerabilità alla siccità;
- invece per la costa nord lo SPEI è in tendenziale aumento e avvicinamento alle classi umide.

Conclusioni

Le nostre analisi confermano dunque i mutamenti climatici in atto anche per le Marche, specie per quanto concerne l'innalzamento termico. Questo non può che avere un impatto sull'agricoltura marchigiana traducibile in:

- modifica dei ritmi stagionali delle colture e aumento delle necessità irrigue,
- anticipo di semine, raccolte e dello sviluppo fenologico,
- maggiore variabilità dell'aggressività dei fitofagi,
- casi di sostituzione dei fitofagi dannosi,
- maggiore adattamento degli insetti alieni accidentalmente introdotti.

Tutto ciò impone il bisogno e il ricorso ad efficaci strategie di adattamento quali:

- tecniche di irrigazione efficienti;
- selezione di materiale genetico più idoneo alle nuove condizioni;
- riscoperta di portinnesti rustici,
- scelta di coltivazioni meno idroesigenti,
- una differente e più oculata selezione delle zone di impianto,
- introduzione di colture a ciclo autunno-primaverile.

Bibliografia

- Climpack software, <https://climpack-sci.org/> con guida https://github.com/ARCCSS-extremes/climpack/blob/master/www/user_guide/Climpack_user_guide.md#toc ed elenco indici https://github.com/ARCCSS-extremes/climpack/blob/master/www/user_guide/Climpack_user_guide.md#appendix
- Leonesi S., Nardi S., Tognetti D., 2017. Potential distribution of xylella fastidiosa in Marche region: atti del XX Convegno AIAM.
- Tognetti D., Alfei B., Nardi S., Pannelli G., 2019. Danni da freddo su piante di olivo nelle Marche a seguito della gelata di febbraio 2018: 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, 33-37.

POTENZIAMENTO DI STAZIONI AGRO-METEOROLOGICHE MONITORANDO L'UMIDITÀ DEL SUOLO SU AMPIA SCALA CON INNOVATIVI SENSORI NON INVASIVI

BOOSTING AGRO-METEOROLOGY STATIONS BY MONITORING LARGE SCALE SOIL MOISTURE WITH INNOVATIVE NON-INVASIVE SENSORS

Stefano Gianessi¹, Matteo Polo², Luca Stevanato², Mauro De Feudis¹, Fausto Tomei³, Claudio Gandolfi⁴, Paola Parravicini⁵,
Roberto Grimaldelli⁵, Orietta Cazzuli⁵, Gabriele Baroni¹

¹ Department of Agricultural and Food Sciences, University of Bologna, viale G. Fanin 44, 40127 Bologna, Italy

² FINAPP.srl, Via Valpolicella 58, 37029 San Pietro in Cariano (VR), Italy

³ Arpa Emilia-Romagna, Struttura IdroMeteoClima, viale Silvani 8, 40100 Bologna, Italy

⁴ Department of Agricultural and Environmental Sciences - Production, Landscape, Agroenergy, University of Milan, Via Celoria 2, 20133 Milano, Italy

⁵ ARPA Lombardia, Servizio Idro-Nivo-Meteo e Clima, Via Ippolito Rosellini, 17, 20124 Milano, Italy

* stefano.gianessi2@unibo.it

Abstract

In this study, new non-invasive soil moisture sensors have been installed and calibrated at three experimental sites. The sensors have been easily installed and data is regularly transmitted to an on-line platform. At the specific conditions of the sites, the measurements represent average soil moisture over an area of around 5 hectares down to 25 cm in the soil. The soil moisture dynamic detected by the sensor is well in agreement with the monitored local conditions (precipitation) and with the soil moisture simulated by the agro-hydrological model CRITERIA-1D. Overall, these detectors show to be an effective solution for soil moisture monitoring that can be integrated into current agro-meteorologic networks. Additional assessments are planned at different agro-environmental conditions.

Parole chiave

umidità del suolo, raggi cosmici, neutroni, monitoraggio della siccità

Keywords

soil moisture, cosmic-rays, neutrons, drought monitoring

Introduction

Soil moisture is an important variable for understanding hydrological processes at different spatial and temporal scales (Vereecken et al., 2008). It is a key factor in weather and climate by controlling the exchange and partitioning of water and energy fluxes at the land surface. The correct characterization of temporal and spatial soil moisture dynamics is of primary importance in agricultural and irrigation management practices, precision agriculture, flood forecasting and landslides prediction.

Several methods have been developed for soil moisture estimations (Corradini, 2014). These methods can be classified as invasive point-scale soil moisture, near-surface proximal sensing or remote sensing. Among these different methods, point-scale soil moisture sensors remain the widest ground-true method in many applications ranging from environmental monitoring to precision agriculture (Domínguez-Niño et al., 2020). However, point-scale observations suffer from inherent soil spatial variability. As such, many sensors should be installed when a representative field average condition is requested. In addition, they need relatively regular maintenance or re-installations to allow agricultural activities. For this reason, the integration of soil moisture observations into long-term operational agro-meteorology stations is still very limited.

Therefore, agricultural soil moisture drought monitoring is still often conducted based on the integration of agro-hydrological models of different complexity or remote sensing products (Saha et al., 2021).

In the last decade, soil moisture estimation based on the so-called cosmic-ray neutron sensing (CRNS) emerged as a promising method for detecting soil moisture non-invasively at a large scale of hectares and integration depth down to 50 cm (Zreda et al., 2008).

This method relies on the inverse correlation of natural neutrons generated by cosmic-rays fluxes and soil moisture. The detector is installed above ground with no contact with soil and it requires low maintenance. The method has been tested in many conditions all around the World showing good performance in comparison to averaged point-scale measurements (Franz et al., 2012; Hawdon et al., 2014; Nasta et al., 2020; Rivera Villarreyes et al., 2011; Vather et al., 2018; Zhu et al., 2016). This technique has started to be integrated into some national observation networks with the acronyms of COSMOS network, i.e., COSMOS-US (Zreda et al., 2012), COSMOz (Hawdon et al., 2014), COSMOS-UK (Cooper et al., 2021), COSMOS-India (Upadhyaya et al., 2021). To some extent, the integration and use of this method have been limited to research groups due to the

relatively high cost of the detectors and the complexity of corrections to be implemented in the signal.

To overcome these limitations, more recent efforts have been dedicated on developing new instruments and standardized analyses that can be easily integrated into on-line processing. Among them, Stevanato et al. (2019) developed a new lighter detector that shows good performance in comparison to commercial probes. In addition, it shows several advantages by measuring additional particles than neutrons like muons and gammas that can be used for further improvements of the signal. The detector underwent further improvements for the optimization of the signal and to minimize energy consumption (Stevanato et al., 2020). As such, it is positioning as a competitive detector that can be easily integrated into current operational agro-meteorological networks for, e.g., drought monitoring, remote sensing calibration or integration into hydrological models. In the present study, we show the activities to integrate such sensors into three agro-meteorological stations operated by the Regional Environmental Protection Agencies (ARPA). The preliminary results are presented and discussed.

Materials and Methods

The experimental sites are located in the Po plain, northern Italy (Fig. 1): this area is well known for its agricultural importance and it can be threatened by drought spells in summer. Each site hosts a weather station of ARPA's hydrometeorological network, equipped with world meteorological organization compliant meteorological sensors for monitoring atmospheric conditions.

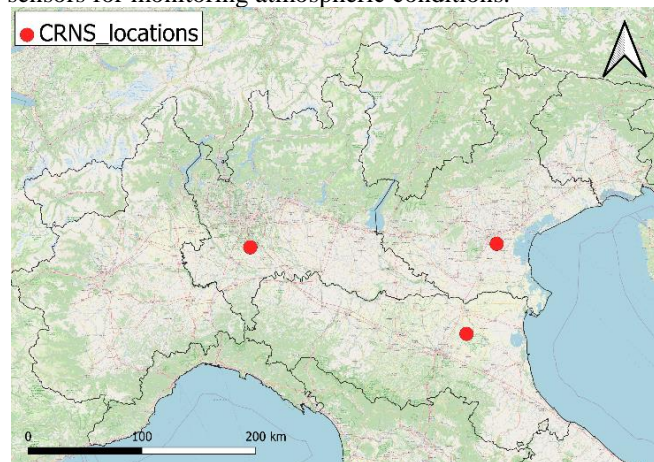


Fig. 1. Posizione delle stazioni agro-meteorologiche in cui è stato installato un sensore CRNS

Fig. 1. Locations of the agro-meteorological stations equipped with CRNS sensor

At each site, a CRNS sensor (<https://www.finapptech.com/>) has been installed (Fig. 2aFig. 1). In the present configuration, the sensors are autonomous with a relatively small solar panel and they transfer the data via GSM. Alternative configurations can be foreseen, i.e., the sensor can be integrated into an existing data logger and connected to local energy

supply. Detected neutrons have been further corrected based on standard approaches for atmospheric pressure, incoming neutron variability and air humidity (Zreda et al., 2012).

At each site, soil samples have been collected for the calibration of the sensor based on a standard sampling design that accounts for the spatial sensitivity of the signal (Fig. 2b). A total of 72 undisturbed soil samples have been collected (i.e., 18 locations and four depths down to 5, 15, 25 and 35 cm). Each sample has been analyzed in the laboratory for gravimetric soil moisture (SM) and bulk density (ρ_{bd}). A composite soil for each soil depth has been further analyzed for organic matter (OM) and lattice water (LW). OM and LW are both determined by the loss-on-ignition method in two separate steps. First, samples are weighted after heating for 16 h at 500°C. Secondly, they are weighted after 12 h at 1000°C (Scheffele et al., 2020). The results of the laboratory analyses are shown in Tab. 1. These values are used for the calibration (eq.1). On the same day of the survey, manual surface (0-5cm) soil moisture values have been detected at around 500 locations around the sensor based on TDR measurements (Field Scout 350) (data not shown).

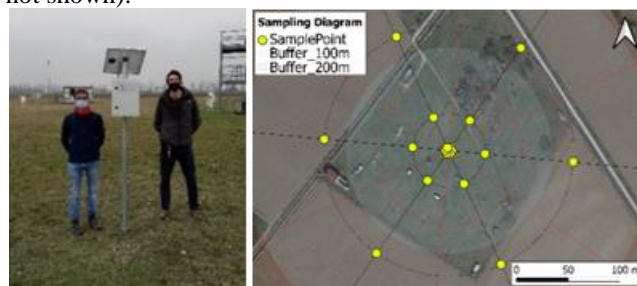


Fig. 2. (a) Tipica installazione del sensore CRNS e (b) disegno di campionamento di suolo per la calibrazione e area indagata dal sensore

Fig. 2 (a) Typical installation of CRNS sensor and (b) sampling design for calibration and sensor footprint

Tab. 1. Parametri medi del terreno per ogni sito sperimentale

Tab. 1. Soil samples parameters average for each experimental site

Site	Capofiume	Landriano	Legnaro
Latitude WGS84	44.653655	45.3216877	45.3473971
Longitude WGS84	11.623476	9.2674271	11.9521693
Altitude [m]	8.5	87.5	6.8
Survey date	3/15/2021	3/22/2021	3/29/2021
Gravimetric SM [g/g] =	0.119	0.198	0.165
Dev st. SM σ =	0.036	0.037	0.021
Gravimetric OM [g/g] =	0.028	0.038	0.044
Gravimetric LW [g/g] =	0.084	0.0073	0.152
Bulk Density [g/cm³] =	1.43	1.37	1.46

The following equation is used to invert corrected neutrons intensity to soil moisture (Zreda et al., 2012):

$$\theta(N) = \left(\frac{0.0808}{\frac{N}{N_0} - 0.372} - 0.115 - \theta_{offset} \right) \cdot \frac{\rho_{bd}}{\rho_w}$$

where N is the corrected neutron intensity [counting per hours cph], θ is the volumetric soil moisture [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$], N_0 is the specific parameter to be calibrated [cph], θ_{offset} is the additional hydrogen pool (i.e., lattice water + soil organic matter) [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$] and ρ_{bd} and ρ_w are the bulk density and density of the water respectively [g cm^{-3}].

Results and Discussion

The CRNS sensors correctly register the neutrons since the installation. The data is transmitted to the on-line platform. Data have been downloaded and further analyzed as previously described. The results at the San Pietro Capo Fiume experimental site are presented in figure 3. The results show a consistent soil moisture dynamic well in agreement with precipitation events. Preliminary analyses show a footprint of 5 ha and a penetration depth of 20 cm. The comparison with soil moisture over the first 25 cm simulated with the agro-hydrological model CRITERIA-1D previously calibrated at the same locations (Tomei et al., 2007) also confirms the good agreement of the soil moisture dynamics. Differences are in the range of the spatial variability detected at the site (data not shown).

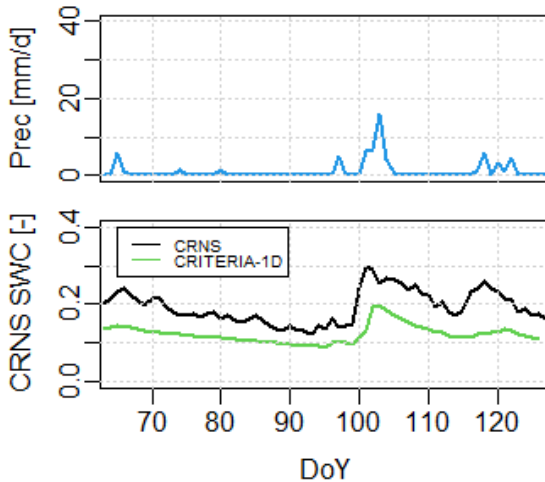


Fig. 3. Dati raccolti a San Pietro Capofiume (alto) precipitazione, (basso) umidità del suolo stimata dalla sonda CRNS e dal modello agro-meteorologico CRITERIA-1D.

Fig. 3. Data from San Pietro Capofiume: (top) precipitation, (bottom) soil moisture estimated based on CRNS and CRITERIA-1D.

The results obtained at the other two experimental sites are illustrated in figure 4. Also for these sites, soil moisture dynamic is well in agreement with precipitation events.

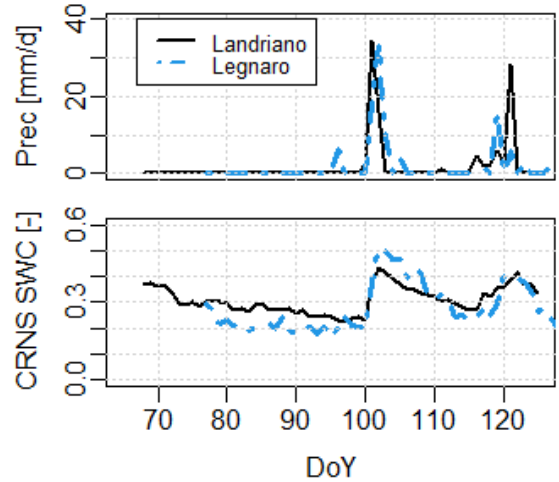


Fig. 4. Dati raccolti alla stazione di Landriano e di Legnaro: (top) precipitazioni; (bottom) umidità del suolo stimata dalla sonda CRNS.

Fig. 4. Data from Landriano and Legnaro experimental sites: (top) precipitation (bottom) CRNS soil moisture.

Specifically, higher precipitation events occurred at these sites in comparison to San Pietro Capofiume, which are reflected in a higher soil moisture dynamic detected by the sensor, with values reaching up to 0.5 volumetric soil moisture [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$]. Noteworthy, two main precipitation events occurred during the monitored period but with a short time shift between the sites. This time shift is well in agreement with the soil moisture dynamic detected by the sensors.

Conclusions

This contribution presents the installation, calibration and preliminary results obtained with innovative cosmic-ray soil moisture sensors CRNS (<https://www.finapptech.com/>). The detectors have been installed at three locations where standard agro-meteorological stations are operated by the Environmental Protection Agencies (ARPA). These detectors have been easily installed, they showed a robust data transmission capacity and they have provided reliable soil moisture estimation since the beginning of their operation. Therefore, these preliminary results, indicate that they can represent an effective and viable solution for non-invasive soil moisture estimation that can be easily integrated into agro-meteorological stations. These boosted observation systems can provide the basis for ground-truth drought monitoring, remote sensing and modeling calibration. Further assessments are planned based on additional soil surveys and the comparison with other commercial CRNS detectors. The application of the same sensor for snow monitoring is also under investigation (Schattan et al., 2017), with two additional sensors installed in two alpine sites (in Veneto and Piemonte regions), once again in collaboration with ARPA.

References

- Cooper H.M., Bennett E., Blake J., Blyth E., Boorman D., Cooper E., Evans J., Fry M., Jenkins A., Morrison R., Rylett D., Stanley S., Szczykulska M., Trill E., Antoniou V., Askquith-Ellis A., Ball L., Brooks M., Clarke M.A., Cowan N., Cumming A., Farrand P., Hitt O., Lord W., Scarlett P., Swain O., Thornton J., Warwick A., Winterbourn B., 2021. COSMOS-UK: national soil moisture and hydrometeorology data for environmental science research. *Earth System Science Data* 13: 1737–1757.
- Corradini C., 2014. Soil moisture in the development of hydrological processes and its determination at different spatial scales. *Journal of Hydrology*.
- Domínguez-Niño J.M., Oliver-Manera J., Arbat G., Girona, J., Casadesús J., 2020. Analysis of the Variability in Soil Moisture Measurements by Capacitance Sensors in a Drip-Irrigated Orchard. *Sensors* 20: 5100.
- Franz T.E., Zreda M., Rosolem R., Ferre T.P.A., 2012. Field Validation of a Cosmic-Ray Neutron Sensor Using a Distributed Sensor Network. *Vadose Zone Journal* 11.
- Hawdon A., McJannet D., Wallace J., 2014. Calibration and correction procedures for cosmic-ray neutron soil moisture probes located across Australia. *Water Resources Research* 50:5029–5043.
- Nasta P., Bogena H.R., Sica B., Weuthen A., Vereecken H., Romano N., 2020. Integrating Invasive and Non-invasive Monitoring Sensors to Detect Field-Scale Soil Hydrological Behavior. *Front. Water* 2.
- Rivera Villarreyes C.A., Baroni G., Oswald S.E., 2011. Integral quantification of seasonal soil moisture changes in farmland by cosmic-ray neutrons. *Hydrology and Earth System Sciences* 15: 3843–3859.
- Saha T.R., Shrestha P.K., Rakovec O., Thober S., Samaniego L., 2021. A drought monitoring tool for South Asia. *Environ. Res. Lett.* 16: 054014.
- Schattan P., Baroni G., Oswald S.E., Schöber J., Fey C., Kormann C., Huttenlau M., Achleitner S., 2017. Continuous monitoring of snowpack dynamics in alpine terrain by aboveground neutron sensing. *Water Resour. Res.* 53: 3615–3634.
- Scheffele L.M., Baroni G., Franz T.E., Jakobi J., Oswald S.E., 2020. A profile shape correction to reduce the vertical sensitivity of cosmic-ray neutron sensing of soil moisture. *Vadose Zone Journal* 19: e20083.
- Stevanato L., Baroni G., Cohen Y., Cristiano Lino F., Gatto S., Lunardon M., Marinello F., Moretto S., Morselli L., 2019. A Novel Cosmic-Ray Neutron Sensor for Soil Moisture Estimation over Large Areas. *Agriculture* 9: 202.
- Stevanato L., Polo M., Lunardon M., Marinello F., Moretto S., Baroni G., 2020. Towards the optimization of a scintillator-based neutron detector for large non-invasive soil moisture estimation, in: 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor). Presented at the 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), pp. 196–200. Tomei, F., Antolini, G., Bittelli M., Marletto V., Pasquali A., Van Soetendael M., 2007. Validazione del modello di bilancio idrico CRITERIA. Presented at the X Conference AIAM 2007 "Agrometeorology, environmental sustainability and desertification: enhancement of production and protection of agroforestry ecosystems", Isola Capo Rizzuto (KR) – Lorica (CS).
- Upadhyaya D.B., Evans J., Muddu S., Tomer S.K., Al Bitar A., Yeggina S.S.T., Morrison R., Fry M., Tripathi S.N., Mujumdar M., Goswami M., Ganeshi N., Nema M.K., Jain S.K., Angadi S.S., Yenagi B.S., 2021. The Indian COSMOS Network (ICON): Validating L-Band Remote Sensing and Modelled Soil Moisture Data Products. *Remote Sensing* 13: 537.
- Vather T., Everson C., Mengistu M., Franz T., 2018. Cosmic ray neutrons provide an innovative technique for estimating intermediate scale soil moisture. 1: 114.
- Vereecken H., Huisman J.A., Bogena H., Vanderborght J., Vrugt J.A., Hopmans J.W., 2008. On the value of soil moisture measurements in vadose zone hydrology: A review. *Water Resources Research* 44.
- Zhu X., Shao M., Zeng C., Jia X., Huang L., Zhang Y., Zhu J., 2016. Application of cosmic-ray neutron sensing to monitor soil water content in an alpine meadow ecosystem on the northern Tibetan Plateau. *Journal of Hydrology* 536:247–254.
- Zreda M., Desilets D., Ferré T.P.A., Scott R.L., 2008. Measuring soil moisture content non-invasively at intermediate spatial scale using cosmic-ray neutrons. *Geophysical Research Letters* 35.
- Zreda M., Shuttleworth W.J., Zeng X., Zweck C., Desilets D., Franz T., Rosolem R., 2012. COSMOS: the COsmic-ray Soil Moisture Observing System. *Hydrology and Earth System Sciences* 16: 4079–4099.

CAMBIAMENTI CLIMATICI: EFFICACIA DI MITIGAZIONE DEI SISTEMI CEREALICOLI NEL PROGETTO PSR-SFOF DELLA REGIONE PUGLIA

CLIMATE CHANGE: MITIGATION CAPACITY OF CEREAL SYSTEMS IN THE PROJECT PSR-SFOF OF PUGLIA REGION

Domenico Ventrella*, Pasquale Garofalo, Simone Maria Bregaglio, Rossana Monica Ferrara, Alessandra Lagomarsino, Ivana Campobasso, Luisa Giglio, Alessandro Vittorio Vonella, Carolina Vitti, Francesco Fornaro, Marcello Mastrangelo, Sabrina Moscelli.

Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA), Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente (CREA-AA), sedi di Bari, Bologna e Firenze.

*domenico.ventrella@crea.gov.it

Abstract

The effects of climate change (CC) in the Mediterranean area will be characterized by increases in temperature and frequency of extreme events related to both temperatures (high and low values) and rainfall. Even with greater uncertainty, a reduction in rainfall is also expected.

With the adaptation to CC, we try to minimize the negative effects on yield variables or to optimize, in a new context, the exogenous inputs. With mitigation strategies, the aim is to reduce greenhouse gas emissions and/or to conserve or increase the soil organic carbon content of the soil. Integrated analyzes of cropping systems in specific areas are necessary to meet both objectives.

In this work, the methodological approaches within the PSR-SFOF project (Submeasure 16.2 "Support for pilot projects and the development of new products, practices, processes and technologies" of the Puglia Region are presented) "An innovative method (monitorable, measurable and certifiable) of organic production towards zero CO₂ emissions agriculture".

Parole chiave

Agricoltura biologica, LCA, modellizzazione colturale, modellizzazione del suolo, frumento duro.

Keywords

Organic agriculture, LCA, crop modelling, soil modelling, durum wheat.

Introduzione

Gli effetti dei cambiamenti climatici (CC) nell'area mediterranea si stanno caratterizzando per incrementi di temperatura ed aumenti della frequenza di eventi estremi legati sia alle temperature (ad alti e bassi valori) che alle precipitazioni. Pur con una maggiore incertezza, rispetto a tali variazioni, per le aree mediterranee si prevede anche una riduzione della piovosità.

Se con l'adattamento ai CC si cerca di minimizzare i loro effetti negativi sulle produzioni agricole oppure di ottimizzare, in un nuovo contesto, gli input esogeni (ad esempio, acqua e azoto), con le strategie di mitigazione si punta invece a ridurre le emissioni dei gas serra e a conservare o ad accrescere il contenuto di carbonio organico del suolo. L'intento di perseguire entrambi gli obiettivi rende necessarie analisi integrate aventi come dei sistemi colturali in determinati ambiti territoriali con omogenee caratteristiche agronomiche, pedologiche e climatiche.

In questo lavoro, si presentano gli approcci metodologici in atto nell'ambito del progetto PSR-SFOF (Sottomisura 16.2 "Sostegno a progetti pilota e allo sviluppo di nuovi prodotti, pratiche, processi e tecnologie" della Regione Puglia): "Un metodo innovativo (monitorabile, misurabile e certificabile) di produzione biologica verso un'agricoltura a 0 emissioni di CO₂" che si sviluppa con azioni di forte interazione con l'attività di ricerca prevista nei progetti Agromodelli

(Agridigit, MiPAAF) e PON-W4AF ("Miglioramento delle produzioni agroalimentari mediterranee in condizioni di carenza di risorse idriche"), entrambi di competenza e coordinamento di CREA-AA.

II PSR-SFOF

Il progetto intende rispondere al fabbisogno principale di ridurre l'impatto ambientale nella applicazione del metodo di produzione biologico, contribuendo al miglioramento del modello aziendale con conseguenze positive per l'agricoltore, l'ambiente ed i consumatori. In particolare, l'azione vuole concretizzarsi con lo sviluppo di strumenti per supportare gli agricoltori nell'individuazione di strategie sostenibili sia dal punto di vista produttivo che ambientale per sistemi colturali cerealicoli riguardanti la coltivazione di frumento duro. Gli indicatori di risposta produttivi sono stati individuati nella resa in granella e nell'efficienza d'uso dell'acqua (WUE) e dell'azoto (NUE). Quelli ambientali riguardano invece:

- il contenuto in carbonio organico del suolo inteso come valore asintotico di riferimento per lo specifico sistema colturale considerato e attuato in un determinato contesto agronomico, territoriale e climatico;

- le emissioni di gas serra (CO₂, N₂O, e CH₄) riferite all'unità di superficie di suolo e alla sostanza secca prodotta;
- impronta idrica e di carbonio (WFP e CFP) del prodotto utile al cancello dell'azienda agricola (farm gate) e cioè della granella di frumento duro.

Le soluzioni innovative che si intendono perseguire con il progetto riguardano:

- 1) l'implementazione di un sistema tecnologico integrato di lettura, trasmissione, monitoraggio ed elaborazioni dati (ambientali e agronomici);
- 2) lo sviluppo di un applicativo informatico (CWFP- Carbon e Water FootPrint) finalizzato alla stima dell'impronta idrica e di carbonio della granella di frumento duro anche al fine di attestarne il beneficio ambientale;
- 3) lo sviluppo di un Decision Support System (DSS) per supportare le scelte gestionali dell'operatore agricolo al fine di ottimizzare i sistemi cerealicoli in biologico al variare di pratiche agronomiche consolidate e migliorative;
- 4) la messa a disposizione di una piattaforma web "Smart Organic Farm".

Il coordinamento amministrativo del Progetto è affidato alla Presidente dell'Associazione Federbio Maria Grazia Mammuccini, mentre la responsabilità scientifica è in carico a Domenico Ventrella, ricercatore in servizio presso il CREA, Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente (CREA-AA), sede di Bari. Altri partner del progetto sono: il gruppo internazionale specializzato in Information and Communication Technology Exprivia S.p.A. (responsabile Pietro Noviello, Molfetta – Bari), la Cooperativa La Pineta A R.L. (Giuseppe Vagnoni, Cerignola – Bari), l'azienda Vincenzo Capobianco & Figli srl, CIA Puglia, Azienda Agricola Creanza (Giuseppe Creanza, Altamura – Bari), LegaCoop Puglia.

Impronta idrica e di carbonio

L'applicativo, che sarà a disposizione degli operatori agricoli si baserà sulle informazioni fornite riguardanti i dati delle operazioni colturali attuate (dalla semina alla raccolta) e di quelle relative a resa ottenuta e (se disponibile) alla percentuale proteica della granella. Per la stima dei consumi idrici e delle emissioni dei gas-serra saranno considerati sia quelli generati direttamente che quelli indiretti legati ai processi di coltivazione in esame e saranno espressi in termini di CO₂ equivalente ed acqua verde e blu (Green and blue water). Per acqua verde si intende la frazione di evapotraspirazione proveniente dall'acqua che si è infiltrata nel suolo ed assorbita dalle radici, mentre quella blu indica l'acqua evapotraspirata fornita con l'irrigazione e quindi proveniente da corpi idrici superficiali o sottosuperficiali. Un esempio di stima di questi consumi, relativo alla coltivazione di frumento duro in Puglia, è riportato da Ventrella et al. (2015).

L'approccio seguirà la metodologia del Life Cycle Assessment (LCA) che si basa sul calcolo di specifici indicatori contestualmente parametrizzati e valuta gli effetti ambientali di un processo produttivo a partire dalla produzione delle materie prime utilizzate sino all'utilizzo finale del prodotto. A tal fine è utilizzato il software SimaPro (<https://simapro.com>) per stimare le emissioni dirette (combustione di carburante per le operazioni colturali) ed indirette (produzione delle materie utilizzate nel processo di coltivazione aziendale).

Strumento di supporto alle decisioni gestionali

Il percorso metodologico per giungere alla messa a punto del DSS è il seguente:

- messa a punto della soluzione modellistica (SM) dei processi di accrescimento e sviluppo del frumento duro, flussi idrici, trasformazione di carbonio e azoto nel *continuum* "suolo-pianta-atmosfera", simulazione dell'emissioni del suolo di CO₂, N₂O e CH₄ ed impatto delle pratiche agronomiche sugli indicatori di risposta;

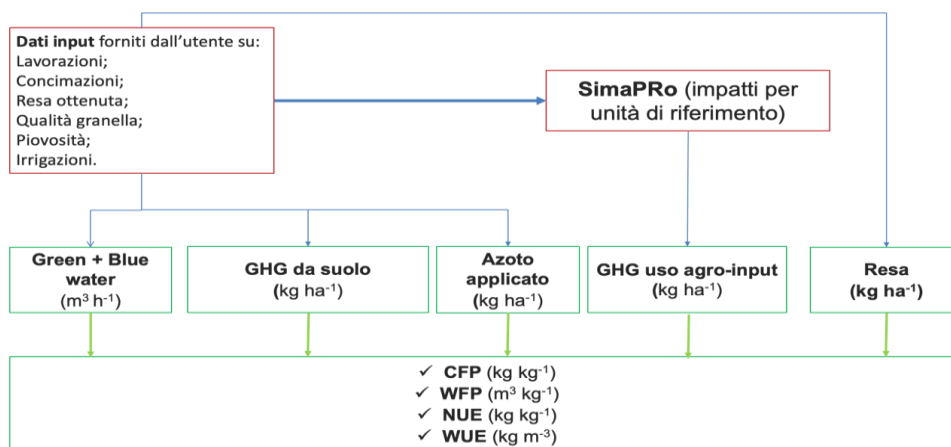


Fig. 1. Schema del CWFP. CFP rappresenta il carbon footprint, WFP il water footprint, NUE è il nitrogen use efficiency e WUE il water use efficiency.

Fig. 1. Framework of CWFP. CFP represents the carbon footprint, WFP the water

- parametrizzazione della SM;
- applicazione di lungo periodo della SM nel contesto agronomico, pedologico e climatico della cerealicoltura in Puglia;
- elaborazione di un algoritmo predittivo (Statistical General Linear Model) che rappresenterà l'infrastruttura del DSS da inglobare nell'applicativo;
- sviluppo di un applicativo user-friendly.

Riferimento principale per la messa a punto della SM è la piattaforma di simulazione BioMA (Biophysical Model Applications, <https://en.wikipedia.org/wiki/BioMA>). Essa consente la costruzione e la parametrizzazione di SM dei sistemi colturali e la loro esecuzione per applicazioni agro-ambientali a diverse scale spaziali e temporali. Le SM di BioMA, sviluppata nel laboratorio modellistico di di CREA-A, descrivono lo sviluppo e l'accrescimento di diverse colture, i flussi idrici nel continuum dalla falda all'atmosfera, il ciclo del carbonio e dell'azoto e le emissioni in atmosfera dei due elementi. Nel corso del Progetto sarà valutata l'opportunità di applicare un approccio multimodellistico, che preveda appunto l'utilizzo simultaneo di più modelli di simulazione. A tale scopo è in corso un approfondimento volto all'individuazione dei modelli disponibili in letteratura che abbiano le caratteristiche sommariamente sopra riportate.

La parametrizzazione prevede innanzitutto la costituzione di opportuni data-set che consentano la minimizzazione degli scarti tra variabili di output simulate della SM e direttamente misurate. A tale scopo è in corso un'attività di

monitoraggio in campo nelle due aziende agricole coinvolte nel progetto (Azienda Creanza di Altamura e della Cooperativa La Pineta a Cerignola) che riguarda: determinazione delle condizioni iniziali; accrescimento, sviluppo e analisi produttiva del frumento duro; monitoraggio temporale del management agronomico (dalla semina alla raccolta) e della fertilità dei due suoli (contenuto in carbonio organico e varie forme di azoto); andamento meteorologico e andamento dell'umidità del suolo a due profondità. Questi ultimi parametri sono rilevati a scala oraria, grazie a stazioni meteorologiche e sistemi di acquisizione con sensori FDR resi disponibili grazie a contratto di servizi fornito da xFarm srl (<https://xfarm.ag>) a favore della Coop. La Pineta e Azienda Creanza. Queste determinazioni sono iniziate nell'annata agraria 2020/21 e continueranno fino al termine del Progetto (Figura 2). Dalla prossima annata agraria (2021/22) sarà avviata un'intensa attività di monitoraggio per la misura diretta delle emissioni del suolo. Per quanto riguarda CO₂, le misure si effettueranno con sistema portatile di misura della respirazione del suolo nel volume interno di collari previamente installati nel suolo con restituzione di valori geolocalizzati di respirazione del suolo ($\mu\text{mol s}^{-1}$), scambio netto di carbonio ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e flusso di vapore acqueo ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Per quanto riguarda N₂O e CH₄, negli appezzamenti in studio delle due aziende saranno installati collari in pvc entro cui, nel corso del ciclo colturale, sarà prelevato un numero adeguato di campioni di gas che saranno pressurizzati per essere successivamente analizzati con gascromatografo nel laboratorio CREA-AA di Firenze.



Fig. 2. Appezzamento nell'azienda Creanza di Altamura; in evidenza la stazione meteorologica da campo e una delle stazioni di rilevazione dell'umidità del suolo, entrambe fornite da xFarm.

Fig. 2. Plot in the Creanza farm in Altamura; in evidence the field weather station and one of the soil moisture stations, both provided by xFarm.

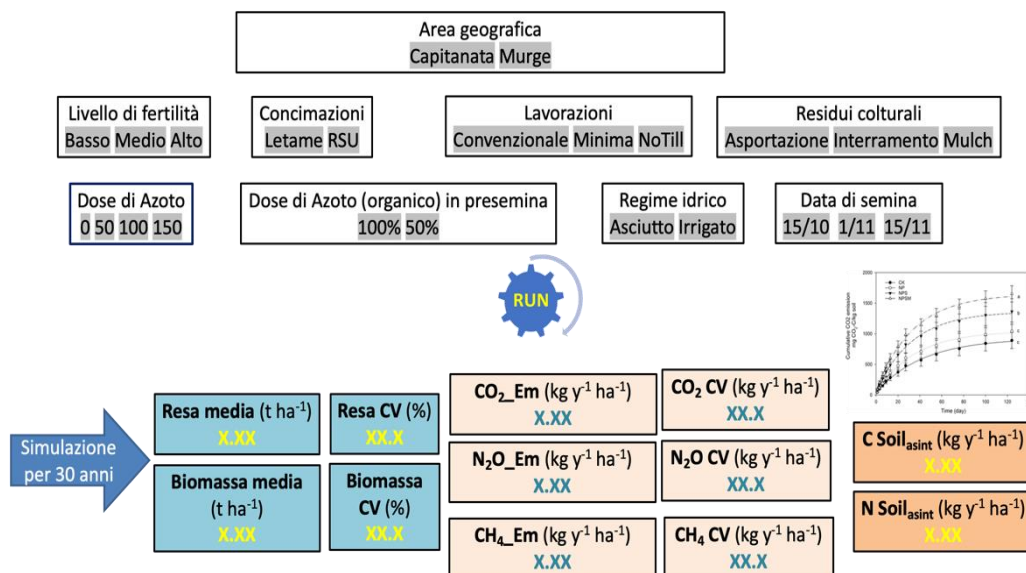


Fig. 3. Schema dimostrativo dell'interfaccia del DSS. Le emissioni saranno restituite anche riferite all'unità di prodotto ed espresse in $\text{kg y}^{-1} \text{kg di ss}^{-1}$.

Fig. 3. Demonstrative diagram of the DSS interface. The emissions will also be returned referring to the product unit and expressed in $\text{kg y}^{-1} \text{kg of ss}^{-1}$.

Dopo la parametrizzazione della SM, si procederà all'applicazione della stessa nei contesti agronomici, pedologici e climatici delle aree delle due aziende variando, modulando e confrontando le pratiche agronomiche sensibili ai processi simulati. In particolare, con percorsi partecipativi saranno individuate le pratiche agronomiche consolidate e migliorative riguardanti la scelta dell'epoca di semina, la gestione dei residui colturali, la fertilizzazione e l'ammendamento.

L'applicazione della SM sarà effettuata in combinazione fattoriale derivante da tutte le alternative agronomiche individuate in un intervallo temporale di lungo periodo (da 30 a 50 anni) per tener conto della variabilità climatica propria delle aree in studio e consentire l'attuazione delle dinamiche di lungo periodo tipiche dell'evoluzione della fertilità del suolo. Il DSS opererà nell'ambito di classi di suolo più rappresentative nelle due aree oggetto di studio.

Infine, la matrice di dati derivante dall'applicazione della SM così descritta sarà utilizzata al fine di elaborare un algoritmo predittivo di tipo statistico (Statistical General Linear Model) che rappresenterà l'infrastruttura del DSS da inglobare nell'applicativo e che sarà interrogato direttamente dall'utente secondo lo schema dimostrativo riportato in figura 3.

Il partner Exprivia curerà tutti gli aspetti riguardanti la messa a punto dei due applicativi informatico da fruire sia in modalità web e sia come App mobile (Android e iOS).

Conclusioni

In questo articolo è stato presentato alla comunità dell'AIAM il progetto PSR della Regione Puglia (Sottomisura 16.2) "Un metodo innovativo (monitorabile, misurabile e certificabile) di produzione biologica verso un'agricoltura a 0 emissioni di CO_2 " il cui scopo principale è quello di offrire strumenti efficaci ed innovativi agli operatori in agricoltura al fine di individuare gestioni agronomiche miranti a sostenere la produttività dei sistemi colturali cerealicoli praticati in Puglia secondo il metodo di coltivazione biologica, conservare o incrementare la fertilità del suolo e minimizzare l'impatto ambientale riducendo le emissioni di gas-serra.

Bibliografia

Ventrella D., Giglio L., Charfeddine M., Dalla Marta A. 2015. Consumptive use of green and blue water for winter durum wheat cultivated in Southern Italy. Italian Journal of Agrometeorology, 1: 33-44.

STRATEGIE PER UN MIGLIORAMENTO DELLA RESA E DELL'EFFICIENZA D'USO DELL'ACQUA IN LATTUGA (*LACTUCA SATIVA L.*) ATTRAVERSO UN'ACCURATA GESTIONE DELL'IRRIGAZIONE NEL CLIMA MEDITERRANEO

STRATEGIES FOR IMPROVED YIELD AND WATER USE EFFICIENCY OF LETTUCE (*LACTUCA SATIVA L.*) THROUGH ACCURATE IRRIGATION WATER MANAGEMENT IN THE MEDITERRANEAN CLIMATE

Nicola Michelin¹, Lucrecia Pacheco Battista², Lorenzo Fellin³, Giuseppina Pennisi¹, Francesco Orsini^{*1}, Giorgio Gianquinto¹

¹Research Centre in Urban Environment for Agriculture and Biodiversity (ResCUE-AB), Department of Agricultural and Food Sciences (DISTAL), Università di Bologna Alma Mater Studiorum, Viale Fanin, 44, 40127, Bologna, Italy.

²Department of Agriculture Sciences, Federal Rural University of Semi-arid, Mossoró-RN (UFERSA), Rio Grande do Norte 59625-900, Brazil

³Edmund Mach Foundation, Technology Transfer Centre, via E. Mach 1, 38098 San Michele (T.N.), Italy

*f.orsini@unibo.it

Abstract

Improving water use efficiency (WUE) in vegetable cultivation in the Mediterranean region is nowadays imperative due to both the critical situation of water resources in the region and the ongoing population growth. Irrigation is necessary for modern agriculture, and users in the agricultural sector must move towards the rational use of irrigation water. It is therefore essential to identify simplified irrigation strategies for vegetable production. Lettuce stands among most grown horticultural crops in the Mediterranean basin and worldwide. This study aims to determine the adequate water supply for maximum productivity and efficient use of water to cultivate lettuce (*Lactuca sativa L.*) under a Mediterranean climate. Two independent experiments were conducted during the spring-summer season of 2018 in open field conditions at the experimental farm of the Department of Agricultural Sciences of Bologna University, located at Cadriano (Bologna, Italy). In the first experiment three irrigation strategies were adopted applying different irrigation levels based on crop evapotranspiration (ET_c), estimated through Hargreaves-Samani equation. In the second experiments, the potentiality for lettuce crop production and WUE in a simplified soilless culture system against traditional on-soil cultivation was addressed. The experiments point out that accurate irrigation water management allows high yield and WUE of lettuce in Mediterranean areas.

Parole chiave

Deficit di irrigazione, resa, WUE, gestione dell'irrigazione, evapotraspirazione

Keywords

Deficit irrigation, yield, WUE, irrigation management, evapotranspiration

Introduction

One of the major challenge that humanity is currently facing, is how to meet the continuously growing food demand without further depleting the limited natural resources supplies. Global population is expected to grow for at least another 40 years, reaching more than 9 billion people by 2050. This steady increase in population results in higher consumption and in an increasing competition for resources, such as land, energy and water. (Godfray et al., 2010). As food production needs to increase substantially its output, by at least 50% (Tripathi et al., 2019), and that water withdrawals for agriculture represent 70% of all the current withdrawals (FAO, 2017), it results clear that the agricultural sector must go through a drastic change to meet this goal and feed a demanding population. To reach such an ambitious task, sustainable agriculture intensification must be targeted and this transition can only be achieved minimizing water use (Kropp et al., 2019) and developing

appropriate irrigation strategies that place their focus on improved water use efficiency (WUE) (Kang et al., 2021). This is particularly true in areas where water is scarce. The Mediterranean basin for instance is considered one of the most vulnerable regions to climatic changes in the World (Milano et al., 2012) and faces major water challenges, as many countries that overlook the Mediterranean Sea are to be considered water-stressed (FAO, 2017). Italy itself is considered a moderate to high water-stressed country, as it withdraws significantly more than 25 percent of its renewable freshwater resources. In this agricultural context and geographical area, an accurate management of water resources is fundamental to ensure an efficient food production now and in the near future. This study therefore aims at determining the adequate water supply needed to maximise production and minimize water use in the

cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a Mediterranean environment.

Materials and Methods

Location

Two independent experiments were carried out on a commercial variety of lettuce (*Lactuca sativa* cv. 'Impulsion'). The experiments were conducted during the spring-summer seasons of years 2018 in open field conditions at Cadriano Farm of the Department of agricultural and food sciences (DISTAL) of the University of Bologna located at Cadriano, 7 km north from the Bologna city centre. The geographic coordinates are 44° 54' North and 11° 41' East, with an altitude of 32 m s.l.m. According to Köppen's classification, the local climate is the Cfa C type, Warm Temperate Climate with relatively high temperatures and evenly distributed precipitation throughout the year (Orsini et al., 2014). The soil presented a loamy texture with 38% sand, 38% of silt, 24% clay, a wilting point of 11.9% v:v, and a field capacity of 25.2% v:v. The soil chemical characteristics in the 0-0.30 m layer were the following: pH (H₂O) 6.9; 1.45% organic matter; C.S.C. 25.9 meq 100 g⁻¹; 0.09 % of Total N; 54.4 ppm of available P; 143 ppm of exchangeable K.

Plant material and experimental treatments

Experiment 1: A conventional on-soil cultivation system was adopted. Three irrigation strategies were applied based on crop evapotranspiration (ET_c), respectively restoring 25, 50 and 100% of crop ET_c measured by using Hargreaves-Samani equation (HS). The experimental design was a completely randomized block design with three treatments and three replicates.

Experiment 2: Conventional on-soil cultivation and a simplified soilless cultivation (SSC) system were compared. The experimental design was a completely randomized block design with two treatments and three replicates.

In both experiments plants were transplanted on May 15th, 2018. Harvest occurred at 40 days after transplanting (DAT). In the conventional soil system, the experimental unit consisted of a 12 m² plot containing 133 plants spaced 0.30 x 0.30 m (resulting in a plant density of 11.1 plants m⁻²), while in the SSC, the experimental units consisted of a 1.2 m² plot containing 21 plants resulting in a plant density of 17.5 plants m⁻².

Simplified soilless cultivation system

The growing system was a deep water culture system or floating system. It was composed of a 1.2 m² wooden structure, made waterproof by applying a plastic film and filled with a nutrient solution. Over the nutrient solution, floating alveolate polystyrene trays where plants were grown were placed. The nutrient solution was based on a standard solution commonly used for lettuce (Orsini et al., 2018), prepared using commercial hydro-soluble fertilizers. During the growing period, EC and pH of the drainage

nutrient solutions were monitored daily using a portable EC/pH Meter (Hanna HI98130, Padova, Italy).

Conventional on-soil system

Soil fertilization was provided through a supply of 1.2 kg m⁻² of cattle manure and 3.75 g m⁻² of N, P, and K. Fertilizer was manually applied three days before transplanting. No additional fertilizer was applied during the crop cycles. The plots were raised by 10 cm, and a trapezoid shape was developed, ensuring a base 1.2 m wide and a top 1.0 m wide. Between the experimental plots, a space of approximately 0.7 m was left to facilitate maintenance, data collection, and harvesting process.

Irrigation management

Experiment 1:

The irrigation management was based on crop evapotranspiration (ET_c), calculated by using the following equation:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

ET_c (mm) is the calculated crop evapotranspiration, ET₀ (mm) is the reference evapotranspiration, and K_c is the F.A.O. crop coefficient for the lettuce crop.

For the estimation of the reference evapotranspiration (ET₀), the Hargreaves – Samani equation

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

Where Ra is extra-terrestrial solar radiation, and T_{med}, T_{max}, and T_{min} are respectively medium, maximum, and minimum daily temperatures were used.

The data for the determination of the reference evapotranspiration were obtained from the local meteorological station.

The amount of irrigation water was calculated also considering the soil hydrological parameters, roots depth, and precipitations. The irrigation adopted was a drip irrigation system. The irrigation system was equipped with self-compensating drippers, with a flow rate of approximately 1.3 L.h⁻¹. Each plant had one dripper (30 cm spacing).

The irrigation was performed based on an 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.

Experiment 2. In the SSC, once a day (at 7:00 am), the daily nutrient solution consumption was calculated by the difference between the nutrient solution level in the tank and the pre-defined level. The nutrient solution was refreshed every day by manually adding a new nutrient solution to the initial level. When plants were grown on the soil-based system, the irrigation management was based on crop evapotranspiration (ET_c), restoring 100% of crop ET_c following the same methodology as in experiment 1.

Measurements

For both experiments, at harvest (40 days after transplanting), yield (kg m^{-2}) was evaluated. WUE was determined as the ratio between leaf fresh weight and the volume of water used and expressed as $\text{g DM L}^{-1} \text{H}_2\text{O}$. Moreover, just before harvesting, the leaf's nitrate level was analyzed using a LAQUA Twin Nitrate Meter (Spectrum technologies, El Paso, TX, USA), and stomatal conductance was measured using a porometer (AP4, DeltaT-Device, Cambridge, United Kingdom). Leaf temperature was assessed using an infrared thermometer model FLUKE 61 (Fluke Corporation, Everett, WA, U.S.A.). Measurement was performed on the canopy's upper surface on three leaves per plant and 30 plants per treatment.

Statistical Analysis

Data were analyzed by one-way ANOVA for both experiments, and the means were compared using the Tukey HSD test at $P \leq 0.05$. Before the analysis, all data were checked for normality and homogeneity of the variance. Averages and standard errors (S.E.) were calculated. Statistical analysis was carried out using R statistical software (version 3.3.2, package "emmeans" and "car").

Results

During the crop cycle, maximum temperatures ranged between 20.2 and 32.7°C, with an average maximum temperature of 27.7°C. Minimum temperatures ranged between 19.3 and 9.1°C, with an average minimum temperature of 15.8°C (Fig. 1).

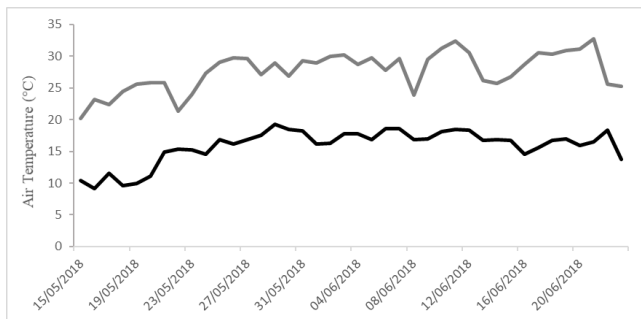


Fig. 1. Range di temperatura massima (linea grigia) e minima (linea nera) durante l'esperimento.

Fig. 1. Maximum (grey line) and minimum (black line) temperature range during the experiment.

Result - Experiment 1

In the irrigation treatment Irr100 (100% of ET_c restored), plants received 124 mm of water. Accordingly, in Irr50 (50% of ET_c restored), plants received 62 mm of water through irrigation, while in Irr25 (25% of ET_c restored), plants received 31 mm of water along the cultivation cycle (Fig. 2).

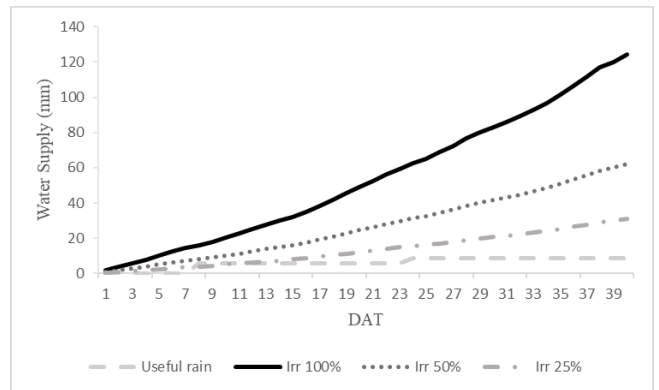


Fig. 2. Richiesta d'acqua cumulativa lungo il ciclo colturale (DAT)

Fig. 2. Cumulative water supply along the crop cycle (DAT).

Water deficit produced significant differences in yield (Tab. 1). Higher plant weight was observed in Irr100 as compared to the other irrigation treatments. No, statistically significant differences were observed between Irr50 and Irr25, (average fresh weight production of 540 g plant^{-1}). Plants grown under the highest level of water shortage (Irr25) presented the greatest nitrate level (Table 1). Higher values of leaf temperature were observed in Irr25. Stomatal conductance presented the higher values in Irr100 while decreased in the other treatments as water supply decreased. Irr25 presented the highest WUE associated with the lowest amount of water supplied, while WUE decreased with the increase of water supplied (Table 1). Higher level of nitrates was recorded when water supply was lowest (Irr25).

Tab. 1. Peso fresco, WUE, livello di Nitrati, temperatura fogliare e conduttanza stomatica delle piante cresciute nei differenti trattamenti irrigui. Lettere diverse indicano differenze significative ($p \leq 0.05$) tra trattamenti.

Tab. 1. Fresh weight, WUE, Nitrate level, leaf temperature and stomatal conductance of plants grown under the different irrigation treatments. Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$) among the treatments.

Parameters	Irr100	Irr50	Irr25
Yield (kg m^{-2})	6.89 a	6.11 b	5.74 b
WUE ($\text{g DM L}^{-1} \text{H}_2\text{O}$)	1.57c	2.97b	6.21a
Nitrate Level (ppm NO_3)	1606 b	1794 ab	2294 a
Leaf Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	23.4 c	24.0 bc	26.1 ab
Stomatal conductance ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	602 a	399 b	243 c

Result - Experiment 2

Yield was increased by 92% (6.89 vs 3.58 kg m⁻²) in Irr100 as compared with the SSC system (Table 2). On the other hand, WUE in SSC system was found to be about 3 folds higher than on soil cultivation, with average values of 4.96 and 1.57 g DM L⁻¹ H₂O, respectively (Tab 2). Higher values of leaf temperature were observed in SSC. Stomatal conductance presented the higher values in Irr100. Irr25 presented the highest WUE associated with the lowest amount of water supplied. WUE decreased with the increase of water supplied (Table 2). Higher level of nitrates was recorded in the SSC (Table 2).

Tab. 2. Peso fresco, WUE, livello di Nitrati, temperatura fogliare e conduttanza stomatica delle piante cresciute nei differenti sistemi colturali. Lettere diverse indicano differenze significative (p≤0.05) tra trattamenti.

Tab. 2. Fresh weight, WUE, Nitrate level, leaf temperature and stomatal conductance of plants grown under the different cultivation systems. Different letters indicate significant differences (p≤0.05) among the treatments.

Parameters	Irr100	SSC
Yield (kg m ⁻²)	6.89 a	3.58 b
WUE (g DM L ⁻¹ H ₂ O)	1.57b	4.96a
Nitrate Level (ppm NO ₃)	1606 a	1772a
Leaf Temperature (°C)	23.4 b	27.8 a
Stomatal conductance (mmol m ⁻² s ⁻¹)	602 a	309 b

Discussion and Conclusions

The results confirm the potentiality of accurate irrigation strategy and the benefits of a sound water management toward the reduction of water use in open air lettuce production. While the Irr100 treatment provided the highest productivity, Irr25 treatment proved to be the most water-efficient alternative, resulting in a great reduction of water usage (93mm). A 75% reduction of water usage, resulted in a limited reduction of yield (-17%). Higher level of nitrates was however observed when the irrigation was reduced (Irr25). The second experiment highlights that the application of different cropping systems significantly affected yield, physiological response and WUE of lettuce grown in Mediterranean climate. The SSC provided a valuable alternative, allowing to largely increase Water Use Efficiency. Even if yield was lower compared to the on-soil cultivation system, thanks to the increased planting density, a production of 3.45 kg m⁻² was achieved, which can be considered satisfactory in a SSC system (Michelon et al., 2020). The yield decrease in SSC as compared to plants grown on-soil could be associated to both the elevated nutrient solution temperature during the day and the associated limited oxygenation of the nutrient solution, which was performed manually by shaking the water in the tank three times per day. The heat stress could have resulted

in a greater osmotic stress caused by nutrient solution, resulting in lower water uptake and reduced plant growth (Sanchez, 2020). Moreover, hypoxia could have emerged, inhibiting root respiration, mineral uptake, and water movement into the roots (Ehret et al., 2010). Nitrates were increased in the first experiment in the lowest irrigation treatment (Irr25) while in the second experiment in the SSC system. However, for both experiments the quantity recorded was still below the limit given by the European Union (e.g., 4500 mg NO₃ kg⁻¹ (Santamaria, 2006), and therefore did not compromise the product marketability.

The two experiments highlighted the importance of adopting accurate irrigation management (e.g., irrigation scheduling according to climate data) to improve water use efficiency for vegetable production in the Mediterranean climate. An interdisciplinary approach and appropriate dissemination activities are deemed essential to guarantee that improved water management methodology and technology for agriculture will be put in place adequately by local institutions and farmers.

References

- Ehret D. L., Edwards D., Helmer T., Lin W., Jones G., Dorais M., Papadopoulos A. P., 2010. Effects of oxygen-enriched nutrient solution on greenhouse cucumber and pepper production. *Sci. Hortic.*, 125: 602-607.
- FAO. (2017). The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.
- Godfray H. C. J., Beddington J. R., Crute I. R., Haddad L., Lawrence D., Muir J. F., Toulmin C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967): 812-818.
- Kang J., Hao X., Zhou H., Ding R., 2021. An integrated strategy for improving water use efficiency by understanding physiological mechanisms of crops responding to water deficit: Present and prospect. *Agricultural Water Management*, 255: 1-18.
- Kropp I., Nejadhashemi A. P., Deb K., Abouali M., Roy P. C., Adhikari U., Hoogenboom G., 2019. A multi-objective approach to water and nutrient efficiency for sustainable agricultural intensification. *Agricultural Systems*, 173: 289-302.
- Michelon N., Pennisi G., Myint N. O., Dall'Olio G., Batista L. P., Salviano A. A. C., Gianquinto G., 2020. Strategies for Improved Yield and Water Use Efficiency of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) through Simplified Soilless Cultivation under Semi-Arid Climate. *Agronomy*, 10(9): 1379.
- Milano M., Ruelland D., Fernandez S., Dezetter A., Fabre J., Servat E., 2012. Facing climatic and anthropogenic changes in the Mediterranean basin: What will be the medium-term impact on water stress? *Comptes Rendus Geoscience*, 344(9): 432-440.
- Orsini F., Gasperi D., Gianquinto G., Ramazzotti S., Herzigova L., Nono-Womdim R., Baudoin W., 2014. Use of HORTIVAR for retrieving information: potentialities for the urban gardener. *Acta Horticulturae* 1108:145-150.
- Orsini F., Pennisi G., Mancarella S., Al Nayef M., Sanoubar R., Nicola S., Gianquinto G., 2018. Hydroponic lettuce

- yields are improved under salt stress by utilizing white plastic film and exogenous applications of proline. *Scientia Horticulturae*, 233: 283-293.
- Sanchez S. V., 2020. Avaliação de alface crespa produzidas em hidropônia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP). Paulista State University, College of Agricultural and Veterinary Science. Available online repositorio.unesp.br/handle/11449/96944 (accessed on 12 Abril 2020).
- Santamaria P., 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1): 10-17.
- Tripathi N., Hills C. D., Singh R. S., Atkinson C. J., 2019. Biomass waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. *npj Climate and Atmospheric Science*, 2(1): 1-10.

SUPPORTO ALLA CONCIMAZIONE AZOTATA SITO-SPECIFICA: SOLUZIONI EMPIRICHE O MECCANICISTICHE? – RISULTATI DI UNA RICERCA BIBLIOGRAFICA

SITE-SPECIFIC NITROGEN RECOMMENDATIONS: EMPIRICAL OR MECHANISTIC SOLUTIONS? FIRST RESULTS OF A LITERATURE REVIEW

Martina Corti*, Virginia Fassa, Luca Bechini

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli studi di Milano, IT
* martina.corti@unimi.it

Abstract

Precision agriculture is useful in the case of nitrogen management that is responsible for the pollution of air and ground water. It involves monitoring the within-field spatial and temporal variability to make decisions about nitrogen doses. Nowadays, the issue is interpreting field data to derive management decisions. Many algorithms were proposed but these led to only a few operational solutions. This lack of solutions could hinder the adoption of precision fertilization. A literature review was done to understand the main algorithms involved in the solutions proposed so far for nitrogen recommendations. The results show that there is a plenty of empirical approaches with a low grade of integration of data from field monitoring. When mechanistic approaches are used, they do not consider spatial variability. More mechanistic approaches with data integration are needed to overcome the issues about current algorithms, to help the diffusion of precision nitrogen management.

Parole chiave

Ricerca bibliografica, sistemi di supporto alle decisioni, fertilizzazione azotata, distribuzione sito-specifica, agricoltura di precisione

Keywords

Literature review, decision support systems, nitrogen fertilization, site-specific application, precision farming

Introduzione

Per un'azienda agricola, la gestione dell'azoto rappresenta un problema molto attuale poiché l'inefficienza dell'applicazione provoca perdite economiche per l'azienda agricola e impatti sull'ambiente.

Sebbene sia possibile determinare la dose ottimale di azoto da distribuire ad una coltura, in termini sia tecnici sia economici, si è tuttavia osservato che la forma specifica della curva di risposta varia sia nel tempo sia nello spazio (Delin et al., 2005), anche all'interno di un singolo appezzamento, a causa dell'interazione con numerosi altri fattori, tra cui la disponibilità di acqua. Nonostante ciò, l'apporto di input agronomici e l'esecuzione delle operazioni colturali sono abitualmente condotte in modo uniforme. L'applicazione sito-specifica (o "di precisione"), permetterebbe di aumentare le rese, ridurre le quantità applicate dei fattori produttivi e contenere gli impatti ambientali.

Nella pratica, la gestione colturale di precisione si articola in tre fasi fondamentali:

- 1) il monitoraggio del suolo e della coltura tramite analisi e sensori;
- 2) la decisione per la predisposizione di mappe di prescrizione relative agli input da fornire al campo;
- 3) l'attuazione, possibile grazie a dispositivi specifici in grado di modulare gli interventi sulla base delle mappe di prescrizione degli input (ad es., sistemi di posizionamento, organi attuatori a tecnologia dose variabile).

Se le filiere di monitoraggio e attuazione sono mature perché largamente studiate e commercializzate (Calcante et al., 2015; Corti et al., 2018), il collo di bottiglia nella gestione di precisione della concimazione è rappresentato dal livello decisionale. Infatti, pur essendo stati sviluppati diversi metodi per la definizione della dose di concime, molti sono studiati solo a livello di ricerca e pochi sono commercializzati (Morris et al., 2018). Necessitano in input informazioni di diversa natura (ad es., pianta, suolo, meteo...), che alimentano un modello teorico semplificato, spesso basato su equazioni empiriche in grado di calcolare la dose di concime. Gli algoritmi per la definizione della dose si possono distinguere in empirici, se necessitano della calibrazione delle funzioni per il luogo e la specie di applicazione, o meccanicistici, se simulano matematicamente i processi dell'agroecosistema (Moebius-Clune et al., 2013). In particolare, lo sviluppo delle tecnologie di gestione della concimazione azotata di precisione ha coinciso negli ultimi anni con un intenso lavoro di ricerca che non ha prodotto risposte operative usate su scala produttiva (Samborski et al., 2009). È quindi necessaria una sintesi bibliografica per chiarire quali siano i metodi ad oggi esistenti per la definizione delle dosi di azoto per la concimazione sito-specifica, per valutarne la diffusione geografica e colturale e per individuare i trend per lo sviluppo di algoritmi al servizio della concimazione di precisione che siano traducibili in risposte operative che facilitino la diffusione delle tecniche di precisione con i

benefici che possono portare in termini agronomici, economici e ambientali.

Materiali e Metodi

La ricerca dei lavori scientifici è stata condotta tramite i database Scopus e Google Scholar, senza limiti temporali. L'indagine è stata condotta tramite le seguenti parole chiave: parole legate alla nutrizione azotata ("nitrogen", "nitrogen fertilization") in combinazione con parole legate ai sistemi di supporto alle decisioni ("decision support systems", "decision support tools"), alla definizione della dose di concimazione ("side-dress nitrogen rate", "nitrogen doses"), al monitoraggio ("remote sensing", "crop/soil monitoring") e alla modellistica culturale ("crop/soil modelling"). Successivamente è stata eseguita una ricerca per autore a partire da quelli identificati tramite le parole chiave e attraverso le citazioni.

Sono stati individuati 146 articoli scientifici. Ogni articolo è stato classificato in base alla presenza di funzioni esplicite che chiarissero il metodo di definizione della dose attraverso equazioni di regressione o impiego di modelli colturali. Successivamente, sono state classificate le informazioni necessarie all'algoritmo in funzione della fonte di acquisizione: "da sensore" se i dati provenivano i) dall'impiego di sensori geofisici per la misurazione di alcune proprietà del suolo, ii) sensori ottici prossimali o remoti per misure di riflettanza ai fini del calcolo di indici vegetazionali, iii) sensori capacitivi e/o ad impatto installati sulle macchine da raccolta per l'ottenimento di una mappa di resa; o "da misure" per misurazioni tradizionali di riferimento, quali: i) campionamenti di suolo per il calcolo dei parametri idrologici e chimico-fisici, ii) dati meteorologici ottenuti da stazioni a terra, iii) informazioni relative alla gestione agronomica della coltura (ad esempio la densità di semina, operazioni colturali previste in azienda, ecc.), iv) costi. Anno di pubblicazione, località dell'esperimento e coltura oggetto di studio sono state altresì considerati.

Risultati e Discussione

Gli algoritmi usati dai lavori censiti sono stati suddivisi nelle due famiglie di approcci: empirici e meccanicistici (Tab.1).

Tab. 1. Numero e percentuale dei lavori censiti suddivisi per tipologia di approccio per la definizione della dose di azoto.

Tab. 1. Number and percentage of the reviewed papers considering the approach used for the definition of N recommendation.

Gruppo	Lavori (n)	Lavori (%)
Algoritmi empirici	115	79
Algoritmi meccanicistici	31	21
TOT	146	100

Il 79% dei lavori recensiti ha usato approcci empirici, mentre solo il 21% ha usato la modellistica culturale a supporto della concimazione. Gli input richiesti dagli algoritmi sono mostrati in Fig. 1.

Dalla figura si può notare come gli algoritmi empirici facciano più uso della sensoristica sulla vegetazione, mentre gli algoritmi meccanicistici richiedano come input misure tradizionali a descrizione di tutti gli altri componenti dell'agroecosistema. Questo si ripercuote anche sulla definizione della dose che considera la variabilità spaziale dello stato della coltura tramite indici vegetazionali nell'83% dei casi. Gli algoritmi maggiormente usati (40%) sono quelli sviluppati dalle università statunitensi e commercializzati coi sensori GreenSeeker (Trimble) e CropCircle (Holland Scientific), che misurano gli indici vegetazionali (Solie et al., 2012; Holland and Schepers, 2010).

Invece, meno del 25% degli algoritmi meccanicistici è in grado di fornire un consiglio di concimazione sito-specifico. Quando possibile, tale consiglio è basato sulla variabilità delle proprietà del suolo misurata attraverso sensori. In entrambi i gruppi di approcci (empirici e meccanicistici), l'integrazione dei dati provenienti dallo studio della variabilità spaziale del suolo e della vegetazione è poco praticata.

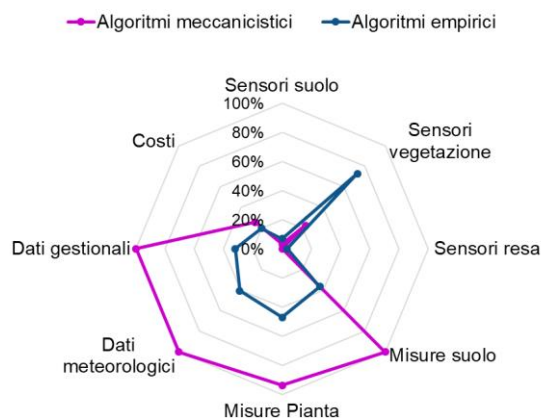


Fig. 1. Grafico a radar che riporta gli input richiesti dalle categorie di algoritmi considerati dalla ricerca bibliografica

Fig. 1. Radar chart showing the input needed by mechanistic and empirical models collected by this review

Infine, gli algoritmi sono maggiormente usati nelle località in cui sono stati sviluppati e calibrati. Per questo motivo la maggior parte è utilizzata negli USA tranne per i pochi algoritmi commercializzati che sono stati testati anche in altri paesi quali Cina e India (13% delle applicazioni di tali algoritmi) e in Europa (25%). Le colture su cui sono stati sviluppati sono principalmente cereali (mais e frumento).

Conclusioni

Gli algoritmi disponibili per il supporto alla concimazione azotata di precisione sono ad oggi molto frammentati. Infatti, sono disponibili algoritmi per la maggior parte empirici, quindi legati alle specificità delle condizioni di calibrazione e non facilmente estendibili ad altri contesti. Quando viene fatto uso di algoritmi meccanicistici, questi sono difficilmente spazializzati. Questa condizione potrebbe essere una delle cause della scarsa applicazione della concimazione sito-specifica.

Inoltre, le informazioni provenienti riguardo lo stato del suolo, della coltura e i dati meteorologici sono scarsamente integrate, con il risultato di non sfruttare al massimo le potenzialità derivanti dai *big data* raccolti attraverso le tecniche di monitoraggio proprie dell'agricoltura di precisione.

In futuro, la ricerca nel settore dovrà porsi il duplice obiettivo di superamento delle specificità e di integrazione massima tra i dati provenienti dalle attività di monitoraggio in modo da superare il problema della scarsa applicazione di tali pratiche.

Bibliografia

Calcante A., Brambilla M., Oberti R., Bisaglia C., 2015. A retrofit variable-rate control system for pressurized slurry tankers. *Applied Engineering in Agriculture* 31:569–579.

Corti M., Cavalli D., Cabassi G., Gallina P.M., Bechini L., 2018. Does remote and proximal optical sensing successfully estimate maize variables? A review. *European Journal of Agronomy* 99:37–50.

Delin S., 2005. Site-specific nitrogen fertilization demand in relation to plant available soil nitrogen and water. Doctoral thesis, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 1652-6880; 2005:6.

Holland K.H., Schepers J.S., 2010. Derivation of a variable rate nitrogen application model for in-season fertilization of corn. *Agronomy Journal* 102, 1415–1424.

Moebius-Clune, B., Van Es, H., Melkonian, J., 2013. Adapt-N uses models and weather data to improve nitrogen management for corn. *Better Crops* 97: 7–9.

Morris T.F., Murrell T.S., Beegle D.B., Camberato J.J., Ferguson R.B., Grove J., Ketterings Q., Kyveryga P.M., Laboski C.A.M., McGrath J.M., Meisinger J.J., Melkonian J., Moebius Clune B.N., Nafziger E.D., Osmond D., Sawyer J.E., Scharf P.C., Smith W., Spargo J.T., Es H.M. van, Yang H., 2018. Strengths and Limitations of Nitrogen Rate Recommendations for Corn and Opportunities for Improvement. *Agronomy Journal* 110: 1–37.

Samborski, S.M., Tremblay N., Fallon E., 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal* 101: 800–816.

Solie J.B., Monroe A.D., Raun W.R., Stone M.L., 2012. Generalized algorithm for variable-rate nitrogen application in cereal grains. *Agronomy Journal* 104: 378–387

PROGETTO GECO2: UN MODELLO PER IL BILANCIO SOSTENIBILE DEL CARBONIO

THE GECO2 PROJECT: A MODEL FOR A SUSTAINABLE CARBON BUDGET

Francesco Giarri^{1*}, Antonio Volta², Giulia Villani², Leonardo Marotta^{3,4}, Fausto Tomei², Antonio Cinti², Ulisse Carlino¹, Francesca Ventura¹

¹ DISTAL Alma Mater Studiorum Università di Bologna, viale Fanin 50, 40127, Bologna (Italy)

² Arpa-SIMC, viale Silvani 6, 40122, Bologna (Italy)

³ Studio Associato Entropia, Atlantis srl, Via F. Corridoni, 3, 6219, Recanati (Italy)

⁴ Atlantis srl, via N. Sauro, 28, 40121 Bologna (Italy)

*francesco.giarri@studenti.unibo.it

Abstract

Mitigation of climate change aims at optimizing the activities by reducing greenhouse gas emissions, at boosting technological and behavioral alternatives and at promoting more sustainable energy sources. No less important is carbon sequestration, especially in the agricultural sector. Indeed, if carbon is stored in soil, concentration in the atmosphere results lower as well as the warming effect.

The European IT-HR GECO2 project wants to create a voluntary carbon credit market with gains from both economic and environmental point of view. Sustainable farms can sell credits generated by carbon storage, whilst companies, mainly from the agri-food sector, wishing to offset their emissions, will purchase the credits.

To manage this trade, a software has been developed. This computes CO₂eq emissions and sequestration due to field management, to achieve a budget and to create credits to put on the market.

The present work describes the calculator and some preliminary results.

Parole chiave

Modellistica, mitigazione dei cambiamenti climatici, conservazione del suolo, rigenerazione del suolo, crediti del carbonio.

Keywords

Modeling, climate change, soil conservation, soil regeneration, carbon credits.

Introduction

Global warming, at global scale, must be envisaged by a strategic plan including several and diverse measures of mitigation. Agriculture can play an important role thereon. Indeed, a conservative agriculture can decrease its impact on GHG (GreenHouse Gases) emission (9% of the total) and increase carbon capture within soil and lignocellulosic biomass. Soils have a potential to harbor up to 8 gigatons of CO₂eq per year (Paustian *et al.*, 2019).

The GECO2 project wants to promote the use of conservative practices by creating a voluntary market. The project enables us to quantify the carbon saved by farmers who then sell credits to enterprises aimed at becoming carbon neutral in their production. In this work we present the tool developed in the frame of GECO2 and the main algorithms by which the software is built.

Materials and Methods

The pilot sites where the calculator will be applied and tested surround the Adriatic Sea: Emilia-Romagna, Marche, Molise and Apulia for Italy and Zadar, Dubrovnik-Neretva and Split-Dalmatia for Croatia.

The original carbon calculator is available for free at:

<https://github.com/ARPA-SIMC/carbonCalculator/wiki>.

At the above site, beside the source and the executable file, you can find information about how to run the program.

The Carbon Calculator is basically divided into three sections:

- 1) Input's form (one for farmers, one for buyers);
- 2) Calculator;
- 3) Output database.

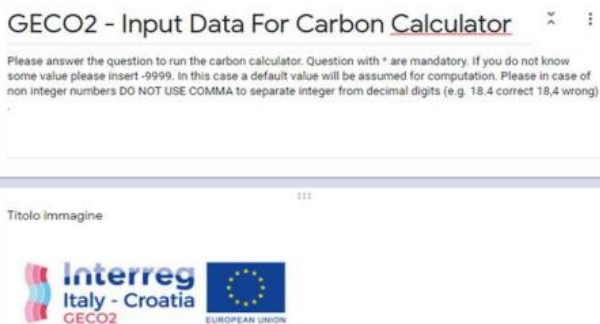


Fig.1. Questionario di input online del progetto GECO2.

Fig.1. GECO2 online input form.

The input form, created by means of the Google survey toolkit, is made up of 98 questions, some of which are mandatory.

Data required are divided into 8 sections (introduction, general data, climate data, soil data, crop and field

management data, agronomic inputs data, energy data, conservative practices description).

To help the compiler in filling out the form, a vademecum in both English and Italian has been edited. In case of missing input data, a set of defaults will cover the lack.

The carbon calculator is a software available for free written in C/C++ language. The software is based on several moduli each one describing the carbon budget of a different activity implemented in the field.

A central function, *computeBalance*, uses the algorithms developed within the different moduli to compute the whole carbon budget in terms of kgCO₂eq and eventually the carbon credits in case the analyzed field fulfils the minimum requirements of sustainability established by the project.

The main structure of the calculator took inspiration from the offline version of the Cool Farm Tool (Hillier *et al.*, 2011).

The functions that calculate the carbon balance can be grouped into four macro categories:

1. Emissions of greenhouse gases (GHG)

1.1 Emission due to carbon oxidation:

Emissions from soil due to carbon oxidation are determined as in (Hockaday *et al.*, 2015) for forest soils.

For agricultural soil, we are supposed to increase the value for forest soil by a factor of 40/24 (conventional tillage), 40/27 (minimum tillage), 40/30 (no tillage), 40/33 (permanent grass). The reason for using these multiplicative factors must be ascribed to the lower C:N ratio in agricultural soils compared with standard forest soil.

1.2 Emissions due to fertilizer:

Fertilizers have a large carbon footprint because of their production, which, especially for nitrogen fertilizers, require a high energy consumption.

For each fertilizer there is a conversion parameter that calculates its emissions expressed in kg of CO₂eq per kg of product.

For the application of the fertilizer, the emissions are calculated using the Bowman model (Stehfest & Bowman, 2006), which estimates, also considering the application technique and the physical/chemical properties of the soil (texture, pH, structure, porosity, plasticity, toughness, adhesiveness, color, and temperature), the losses due to the processes of denitrification that produces nitrous oxide and the volatilization of ammonia.

1.3 Emission due to pesticides:

The use of pesticides accounts for emissions only because of its production. As for fertilizers, a conversion constant transforms the amount of pesticide into kgCO₂eq (see Audsley *et al.*, 2009). Application of pesticides is considered negligible due to small amounts applied compared with fertilizers.

1.4 Emission due to crop residues:

The calculation provides different types of management of crop residues. For some of them, the emissions produced, of which CO₂, CH₄ e N₂O, are not negligible and are counted as follows.

If the residues are burned, it is assumed that 95% of the carbon is again emitted in the form of CO₂ together with additional minimum amounts of CH₄ and N₂O.

If residue becomes biochar the percentage of carbon lost as CO₂ is at 50% and both CH₄ and N₂O also are emitted in minimal quantities.

Composting produced either with normal aeration or with forced aeration, CO₂ emissions negligible whereas the values of CH₄ and N₂O emissions increase.

In the first case the emissions increase due to a greater fermentation of methane and a more intense denitrification activity due to the lack of oxygen. If the compostable material is instead ventilated in a forced way, the emissions are about 40% lower than in the previous case.

In case the residues are managed through heaps, a high quantity of CH₄ and N₂O is produced.

Since the greenhouse potential of these two gases is much higher than CO₂, this treatment results in the least suitable from an environmental point of view.

1.5 Emission due to Energy consumption:

Each fuel directly used in the field has a conversion factor which varies according to the energy matrix used (methane, LPG, oil, etc..). This factor proportionally converts fuel consumption into carbon footprint.

To determine the emissions due to electricity used by the company for the reference field, we consider whether electricity is produced directly within the company through renewable sources (photovoltaic, aeolian and hydroelectric) or otherwise acquired from the grid, considering the energy mix of its supplier.

The electrical consumption is converted into emissions produced through factors that transform the kWh into kg of CO₂eq.

2. Loss of carbon due to erosion

Erosion causes the loss of soil and consequently also of carbon.

The simulator calculates, using various environmental parameters, how many kg of soil are lost and assumes that 1% of this amount is carbon.

The following RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) equation is used to describe the loss of soil:

$$\text{Loss} = 1000 * R * K * LS * C * P$$

Parameters are calculated after Benavidez *et al.* (2018) and references therein.

R = Parameter depending on the amount of rain;
 K = Parameter depending on soil texture;
 LS = Parameter depends on the slope of the land;
 C = Parameter depends on the type of soil cover;
 P = Parameter depends on the type of processing.
 For C and P, the value is between 0 and 1, where 1 indicates bare soil.

3. Stock of carbon in soil

3.1 Carbon storage due to soil management:

In this section we present the procedure used to calculate the amount of carbon stored in soil considering both the different use of the soil (forest, sparse vegetation, permanent grass or worked field) and the types of processing applied (conventional tillage, minimum tillage, no tillage or use of cover crops) limited to fraction of the cultivated area. The algorithm assumes that there is constant carbon accumulation over twenty years and that the annual increase will be equal to:

$$C_{n+1} = r C_n$$

C_n represents the carbon content of the first 30 cm of soil profile in the year n , C_{n+1} represents the carbon in the following year ($n+1$) while the constant r depends on soil management, (tillage of the soil and the amount of amendment and crop residues applied).

3.2 Carbon in soil due to incorporated residues:

If left in the field, crop residues also increment the carbon stock in soil. Annual belowground residue weight depends on soil cover and field management (organic or not) as in Hu *et al.* (2018). An exponential function determines how much belowground biomass remains in soil. At the contrary aboveground biomass must be declared by the user. The woody biomass is expected to decompose by a 46% whereas green residues by an 86% (Yue *et al.*, 2016). For forest cover we set a default residue value equal to 1 t/ha of wood and 0.5 t/ha of grass. For grassed orchard or cover crops we set 0.5 t/ha of green residue due to grass.

4. Stock of carbon in aboveground biomass

The biomass accumulated in the epigeal system is determined following the values tabulated in Ronga *et al.*, (2018).

In a very simple way, based on the type of orchard/vineyard, a value of woody biomass produced per hectare is assigned. The wood pruning value declared in the input form is subtracted from this tabulated value.

Other more complex algorithms have also been implemented but have not been activated in the current version.

For forest area a default value of 2.5 t/ha is assigned.

Once CO₂eq budget has been determined, we proceed with the attribution of the credits/debts that the company obtains.

The transition from carbon balance to credit calculation takes place only if the balance is negative.

Carbon accumulated in soil and allocated in the aboveground biomass are both multiplied by a factor a bit lower 1 which depends on the number of conservative practices adopted in the field. Multiplication factors are determined by sigmoid functions that increase in value depending on the number of used practices increases.

In case the orchard is older than 20 years, the number of conservative practices that determine the multiplication factors, is increased by one. Indeed, old orchards keep large quantities of carbon for a long time slowing down the turnover to the atmosphere.

To be accepted to the voluntary carbon credit market, it is necessary to obtain a final credit lower than -500 kg CO₂eq and that at least three conservation practices have been implemented during the analyzed growing season.

Tab.1. Carbonio sequestrato in funzione della pratica conservativa adottata.

Tab.1. Carbon sequestered based on the adopted practice.

Practice	Budget (kgCO ₂ eq/ha)
Conventional tillage	0
Minimum tillage	-700
No tillage	-1350
Cover crops	-1200
Grassed orchard	-1900
Sparse vegetation	-2450
Forestry area	-3000

Tab.2. Valori del bilancio di carbonio in funzione del trattamento residuo adottato per il campo. I valori in tabella fanno riferimento al trattamento di 1 kg di biomassa impiegata.

Tab.2. Carbon budget as function of the residue treatment adopted. Values refer to 1 kg of biomass.

Treated residue	Budget (kgCO ₂ eq)
Compost forced aeration	0.022
Compost non forced aeration	0.032
Biomass left untreated in heaps or pits	1.79
Wood chips (let in field)	-0.65
Burned	0.48
Biochar	0.26

Tab.3. Valori del bilancio di carbonio in funzione degli ammendanti usati in campo. I valori in tabella fanno riferimento ad 1 kg di prodotto impiegato.

Tab.3. Carbon budget as function of the organic amendment adopted. Values refer to 1 kg of product.

Soil improver	Sequestration (kgCO ₂ eq)	Emission (kgCO ₂ eq)
Compost	-0.12	0.02
Manure	-0.05	0.01
Digestate	-0.05	0.01
Biochar	-2.76	0.85
Straw	-0.63	0.02

Tab.4. Valori del bilancio di carbonio in funzione del composto chimico adottato per il campo. I valori in tabella fanno riferimento ad 1 kg di prodotto impiegato.

Tab.4. Carbon budget as function of the chemical compound adopted. Values refer to 1 kg of product.

Fertilizer	Budget (kgCO ₂ eq)
Urea	2.052
Ammonium Nitrate	3.1
Test Compound NPK (15N 15K ₂ O 15P ₂ O ₅)	1.3
Super Phosphate	0.57
Limestone (55-CaCO ₃ -29CaO)	0.0055
Pesticide (weight of the active principle)	13

Tab.5. Valori del bilancio di carbonio in funzione dell'energia utilizzata dall'azienda per il campo. I valori si riferiscono ad una unità di energia (kWh per l'elettricità e litro per combustibili).

Tab.5. Carbon budget as function of the energy used in the field. Values refer to 1 unit of energy (kWh for electricity, l for fuels).

Energy	Budget (kgCO ₂ eq)
Electricity Grid renewables (kWh)	0.030
Electricity No Grid renewables (kWh)	0.54
Diesel (l)	2.68
LPG (l)	1.81
Methane (l)	2.30

Results and Discussion

We used the calculator to assess the magnitude of both, carbon sequestered and GHG emission avoided, to assess the impact of each practice registered in the farm.

For all simulations, we set pH = 8, a fine texture with poor drainage and the slope set at 1%. We provided as a control plot a standard apple orchard managed through a conventional tillage without agronomic inputs.

From the control plot we added one by one the conservative practices for soil to quantify the potentiality of carbon sequestration of each one.

Conclusions

The carbon calculator tool has been made up in the framework of the GECCO2 project. Although we provide a rough assessment of the field carbon budget, we believe that this tool can be very useful to identify the most effective actions to perform to make the orchards and vineyards carbon sinks. Perennial crops can play a strong role in coping with climate change in terms of mitigation.

Remarkably many actions are extremely useful for mitigation as well as for adaptation to climate change.

The main goal of the GECCO2 project is to create a voluntary market where farmers can sell the credits obtained by conservative practices. We expect that this procedure can play an important role in order to reach carbon neutrality as soon as possible.

Acknowledgments

The present work has been developed within the frame of the GECCO2 project. The project GECCO2 is funded through the IT-HR Interreg Programme.

References

- Audsley E., Stacey K., Parsons D.J., Williams A.G., 2009. Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use (book). Cranfield university 1-20.
- Benavidez R., Jackson B., Maxwell D., Norton K., 2018. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation (R/USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/hess-2018-68>.
- Hillier, J., Walter, C., Malin, D., Garcia-Suarez, T., Mila-i-Canals, L., Smith, P., 2011. A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environ. Model. Software* 26 (9), 1070e1078. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.03.014>.
- Hockaday W.C., Gallagher M. E., Masiello C. A., Baldock J. A., Iversen C. M., and Norby R. J., 2015. Forest soil carbon oxidation state and oxidative ratio responses to elevated CO₂. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120, 1797–1811, doi:10.1002/2015JG003010.
- Hu T., Sørensen P., Wahlström E. M., Chirind N., Sharif B., Li X., Olesen J. E., 2018. Root biomass in cereals, catch crops and weeds can be reliably estimated without considering aboveground biomass. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 251: 141-148.
- Paustian K., Larson E., Kent J., Marx E., Swan A., 2019. Soil C. Sequestration as a Biological Negative Emission Strategy. *Front. Clim.*, 1(8): 1-11 doi: 10.3389/fclim.2019.00008.
- Ronga M., Chiriaco M.V., Pellis G., Perugini L., Valentini R., 2018. Metodologia per l'attuazione di meccanismi volontari di riduzione e compensazione delle emissioni a livello di distretto zootecnico (in Italian). <https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/19132>.
- Stehfest E., Bouwman A.F., 2006. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74: 207-228.
- Yue K., Peng C., Yang W., Peng Y., Zhang C., Huang C., Wu F., 2016. Degradation of lignin and cellulose during foliar litter decomposition in an alpine forest river. *Ecosphere* 7(10): 1-11

POSITIVE: UN PROGETTO DI IRRIGAZIONE INTELLIGENTE PER L'AGRICOLTURA 4.0

POSITIVE: A SMART IRRIGATION PROJECT FOR AGRICULTURE 4.0

Francesca Ventura¹, Marco Vignudelli¹, Giovanni Maria Poggi^{2*}, Tommaso Letterio³, Stefano Anconelli³

¹ DISTAL Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, viale Fanin 44, 40127, Bologna (Italy)

² BiGeA Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Piazza di Porta S. Donato 1, 40127, Bologna (Italy)

³ CER Consorzio per il Canale Emiliano-Romagnolo, via Masi 8, 40137, Bologna (Italy)

* giovannimaria.poggi2@unibo.it

Abstract

POSITIVE (Scalable Operational Protocols for precision agriculture) is a precision agriculture project for variable rate irrigation designed to improve the functionality of the IRRIFRAME system, the irrigation advice service of the Emilia-Romagna region. POSITIVE is based on satellite remote sensing, the use of vegetation indices for crops, IoT (Internet of Things) technologies, Big Data and 4.0 irrigation machinery. A central server manages the information flows and provides variable rate irrigation maps for farmers as final users. The system is public and free. In the first year of "IRRIFRAME plus" system experimentation (improved version of IRRIFRAME through POSITIVE machinery), at the experimental farm located in Mezzolara di Budrio (BO - Italy), promising results have been obtained for maize, with a WUE (Water Use Efficiency) going from 4.2 g l⁻¹ (with standard IRRIFRAME service) to 5.2 g l⁻¹. For sparse crops, such as tomato and onion, results were not so satisfactory. The future years of experimentation will allow to improve the calibration of VI-crop coefficient (Kc) correlation in order to improve the response in condition of partial soil cover and wetting condition.

Parole chiave

Agricoltura di precisione, irrigazione rateo variabile, indici da satellite.

Keywords

Precision agriculture, variable rate irrigation, satellite indices

Introduction

Promoting Climate Change adaptation is one of the most important objectives of the 2014-2020 Rural Development Programs of European Union (European Commission, 2013). The POSITIVE Project (Scalable Operational Protocols for precision agriculture - http://www.progettopositive.it/nqcontent.cfm?a_id=19491) was financed by a POR-FESR 2018 call of the Emilia-Romagna Region, with the idea of creating a public support system for precision irrigation/fertirrigation at variable rate as an evolution of IRRIFRAME (www.irriframe.it) regional irrigation service developed by CER (Consorzio di bonifica per il Canale Emiliano Romagnolo). IRRIFRAME service performs soil water balance calculation taking into account plant development, atmospheric thermal regime, rainfall and evaporative demand, providing free irrigation advice to farmers who register their plots on the platform. POSITIVE strategic objective is to make actually available the great potential offered by current technologies (satellite remote sensing, IoT - Internet of Things, Big Data), often underutilized by final users due to their complexity, for precision agriculture. POSITIVE means having Protocols, that is, executive procedures and standard interfacing methods well defined. Protocols must be Operational, therefore concretely applicable, not reserved for contexts that require specialized skills, and Scalable, not limited to the single company or to the single individual experiment, but capable of being replicated in a broad context without technological limitations. The project involves public

regional authority, land reclamation consortia, universities, and private stakeholders, such as farmers, agro-industrial companies, producers of irrigation equipment and technological solutions, policy makers of agricultural and environmental policies, all united by the urgent challenge of Climate Change. Aim of this work is to present the first year of results obtained using prescription maps for VRI (variable rate irrigation).

Materials and Methods

The first year of POSITIVE project experimentation (2019 agronomic season) was dedicated to the validation of the correlations between vegetation indices (VIs) and the main biophysical parameters that can be used in precision agriculture practices. In relation to the planned applications, it was decided to focus on the following parameters: Leaf Area Index (LAI), Canopy Chlorophyll Content (CCC), Leaf Chlorophyll Content (LCC), leaf water content (EWT) and crop coefficient (Kc). At CER "Acqua Campus" experimental farm, located in Mezzolara di Budrio (BO), three crops were studied: tomato, onion and corn. For each crop, two plots were evaluated: one not irrigated and one irrigated according to the calculation performed by IRRIFRAME. For each plot, based on the Sentinel-2 grid, an Elementary Surface Unit (ESU) was identified corresponding to a pixel of 20x20m. Within each ESU, at four Sentinel-2 flight during the season, the following biophysical parameters were assessed: phenological measurements (aimed at calibrating the Kc of IRRIFRAME

model), average crop height, LAI using a ceptometer, SPAD (Soil and Plant Analyzer Development) measurements for LCC estimation. For each survey date, satellite images were downloaded and pre-processed. Through the algebraic combination of Sentinel-2 multispectral bands, more than 100 vegetation indices have been calculated, and among these, were selected those able to better estimate the chosen parameters. DISTAL (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari - Università di Bologna) performed the measurement of the biophysical parameters under study, while CRAST (Centro di Ricerca Analisi geoSpaziale e Telerilevamento, Università Cattolica del Sacro Cuore) performed the calculation and validation of the VIs (Amaducci et al., 2020). The best indices for correcting irrigation recommendations provided by IRRIFRAME, regardless of the crop, were, following the validations carried out by CRAST, the Enhanced Vegetation Index (EVI) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The POSITIVE system operates by means of the POSITIVE SERVER (developed and hosted by CIDEA - Centro Interdipartimentale Energia Ambiente, Università degli Studi di Parma) which manages all the incoming and outgoing data flows of the various subsystems (fig.1). The ARPAE (Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell' Emilia-Romagna) server Sat Service downloads and processes the data of Sentinel-2 satellite, generating the digital maps of NDVI and EVI vegetation indices. POSITIVE SERVER receives the indices maps, processes them and sends them to the IRRIFRAME/IRRINET subsystem which integrates the value of the indices and, based on them, generates a new enhanced Kc. This new value of crop coefficient is assimilated within the calculation of the water balance, to produce variable rate irrigation prescription maps. Specifically, the average EVI value calculated for the plot is used to adjust the Kc generated by IRRIFRAME for that plot, while the NDVI map is used for spatialization, i.e. to generate the variable rate irrigation within the same plot. The maps are time-dynamic because updated at every satellite overflight. The POSITIVE SERVER also integrates a further series of soil moisture data from a ground sensors network (Terra & Acquatech-Università di Ferrara, IMEM-CNR) to improve the definition of the actual Kc. The irrigation advice is returned to the POSITIVE SERVER which sends to the 4.0 irrigation machinery, equipped with a receiving control unit and actuators able to perform irrigation at variable rates (OCMIS Irrigazione S.p.A.). A webGIS (Centro Ricerche Produzioni Animali- CRPA) to manage irrigation called SAMS (Smart Agronomic Management System) completes the POSITIVE pack available to the farmers.

In 2020, the second year of the project, the functionality tests of the system were carried out with variable rate irrigation applied on three main open field crops: corn, onion, and tomato, at "Aqua Campus" CER experimental farm. For each crop two plots were set, one managed with the conventional IRRIFRAME method, already available for the farmers in Emilia-Romagna, the other using the "IRRIFRAME plus" irrigation advice, improved by

POSITIVE SERVER.

Results and Discussion

Tests were carried out by comparing field trials irrigated by the conventional IRRIFRAME (*Cif*) method vs the POSITIVE one (from now called "IRRIFRAME plus", *If+*). Table 1 summarizes water consumption, yield and Water Use Efficiency (WUE) achieved for year 2020 in CER experimental farm. As regards maize, a good result can be observed in terms of water savings obtained through the integration of IRRIFRAME service with satellite indices. WUE, thanks to POSITIVE system, in fact goes from 4.2 g l⁻¹ to 5.2 g l⁻¹, with an irrigation volume of 190 and 150 mm, respectively. As regards to onion and tomato, on the other hand, going from IRRIFRAME system to POSITIVE system, in the first case has no appreciable difference in terms of irrigation volumes and WUE, while in the second case the IRRIFRAME system seems to work better than POSITIVE, assessing a smaller irrigation volume that lead to a greater WUE.

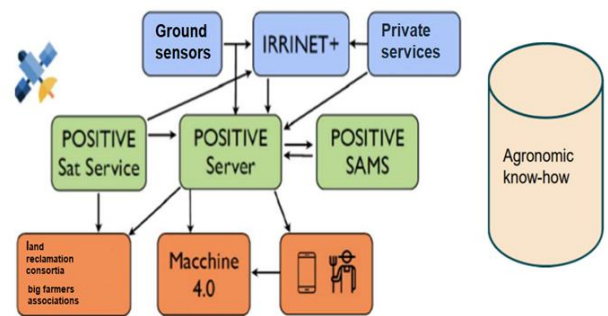


Fig. 1. Positive system architecture (fonte www.progettopositive.it)

Fig. 1. Architettura del Sistema POSITIVE (source www.progettopositive.it)

Tab. 1. Apporti idrici, rese ed efficienza d'uso dell'acqua per le colture della sperimentazione 2020.

Tab. 1. Water intake, yield and Water Use Efficiency for 2020 experimental crops.

Crop	Irrigation mm	Rainfall mm	Yield t ha ⁻¹	WUE g l ⁻¹
Mais <i>Cif</i> .	190	219.4	17.2	4.2
Mais <i>If+</i>	150	219.4	19.4	5.2
Onion <i>Cif</i> .	289	206.6	62.4	1.3
Onion <i>If+</i>	282	206.6	63.6	1.3
Tomato <i>Cif</i> .	240	180	71.3	17
Tomato <i>If+</i>	263	180	44.8	10.3

Conclusions

The first year of experimentation with IRRIFRAME plus protocol (2020 agronomic season) provide still partial results with irrigations at a prototypical level, however the system designed by the POSITIVE project allows a more advanced and efficient use of irrigation even at this level. The application at regional scale of the system means that even a very small percentage reduction in irrigation applied to crops becomes a large amount of water saved, and has important effects especially in case of water scarcity, as often happens in recent years. Furthermore, POSITIVE system offers a free service available to all farmers in the region. Those who do not have the machines and technology necessary for the implementation of a VRI, can still take advantage of a more accurate Kc, resulting from the adjustment through EVI. On the other hand, those who have the instruments can realize a VRI by spatializing the Kc using the NDVI map. The results achieved so far are clearly preliminary, obtained from a single year of agronomic experimentation in a single experimental farm. Nevertheless, these first results allow us to draw some interesting conclusions. For maize, the POSITIVE system appears to be very promising. This could be an excellent opportunity to improve the efficiency of water use in the regional agricultural sector, since corn is a crop of central importance in Emilia-Romagna, and it has a high irrigation demand. The system, on the other hand, shows some critical issues regarding crops such as onion and tomato. This type of crops exhibits a very different behavior than maize, in terms of land cover rates. Furthermore, in the specific case of the tomato, at the moment of veraison, the relative prevalence of the vegetation on the red berry can represent a further source of disturbance. For these reasons, the calibration of Kc with the integration of satellite indices on these crops will certainly require further efforts. The ambitious goal of the POSITIVE project is to implement a homogeneous system, capable of providing reliable data on a wide variety of crops, so as to offer a regional service for the largest possible number of farmers in Emilia-Romagna, in order to translate the water savings of individual farmers, in an important rationalization of the use of water resources at the regional level. In literature, NDVI and EVI are considered to be reliable indices to calibrate crop coefficients. For example, Togliatti et al. (2019) report their use to perform various types of observations on crops, such as phytosanitary status, vigor and phase of the life cycle. NDVI is in fact widely considered an indicator of photosynthetic capacity, and its use in conjunction with EVI has the purpose of reducing the tendency of NDVI to saturate for high values of LAI (Cai et al., 2018). The fact that the most satisfactory results have been obtained on maize is not surprising. In 2016, Wagle et al. found that EVI can track seasonal variations for Light Use Efficiency and Water Use Efficiency in corn, so that EVI can be used to parameterize these two quantities, in order to make predictions on crop evapotranspiration. Moreover, Shao et al. (2021) obtained a high resolution spatial distribution for corn Kc, based on EVI. This result starts from the consideration

that Kc map can be obtained starting from the spatial distribution of LAI. LAI map is in turn obtained from EVI values, which showed a high correlation with LAI ($R = 0.81$).

As regards onion and tomato, evidence has already emerged in the literature regarding a more difficult estimation of biophysical parameters related to Kc (for example LAI) from Sentinel-2 imagery, due to a scarce and dispersed soil cover, which results in a strong influence of bare soil (Pasqualotto et al., 2019). Nevertheless, promising remote sensing applications linked to the estimation of biophysical parameters, Kc and WUE for this type of crops are starting to emerge (Marino et al., 2014), also specifically through the use of Sentinel-2 satellite images (Kaplan et al., 2021), demonstrating the possibility of improving the POSITIVE system in the coming years of experimentation.

Given these considerations, POSITIVE has produced interesting and promising results, especially considering that they are the result of a single and preliminary year of agronomic experimentation of IRRIFRAME plus system, in a single experimentation site.

Partnership

- Partner Lab: CIDEA Università di Parma, CRAST Università di Piacenza, CER Canale Emiliano Romagnolo, Terra&Acqua Tech Università di Ferrara, CRPA (Centro Ricerche Produzioni Animali)
- Associated Partners: IMEM-CNR, Dip. Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari DISTAL UniBO, ARPAE, Az. Agr. Stuard
- Private companies: APOFruit, Mutti, Casella, OCMIS irrigazione S.p.A., SIME, WINET, Horta, DINAMICA, OI Pomodoro, ANBI-ER, AMIS, Consorzio Agrario Parma
- Collaborators: Lepida

References

- Amaducci S., Croci M., Impollonia G., Colauzzi M., 2020. Relazione attività "validazione correlazioni tra indici di vegetazione e parametri biofisici".
- Cai Y., Guan K., Peng J., Wang S., Seiferte C., Wardlow B., Lig Z., 2018. A high-performance and in-season classification system of field-level crop types using time-series Landsat data and a machine learning approach. *Remote Sensing of Environment*, 210: 35–47.
- Commission Staff Working Document "Principles and recommendations for integrating climate change adaptation considerations under the 2014-2020 rural development programmes". Brussels, 16.4.2013 SWD (2013) 139 final.
- Kaplan G., Fine L., Lukyanov V., Manivasagam V.S., Malachy N., Tanny J., Rozenstein O., 2021. Estimating Processing Tomato Water Consumption, Leaf Area Index, and Height Using Sentinel-2 and VENS Imagery. *Remote Sens.*, 13: 1046.
- Marino S., Aria M., Basso B., Leonec A.P., Alvino A., 2014. Use of soil and vegetation spectroradiometry to investigate cropwater use efficiency of a drip irrigated tomato. *Europ. J. Agronomy*, 59: 67–77.
- Pasqualotto N., D'Urso G., Falanga Bolognesi S., Belfiore O.R., Van Wittenberghe S., Delegido J., Pezzola A., Winschel C., and Moreno J., 2019. Retrieval of Evapotranspiration from Sentinel-2: Comparison of Vegetation Indices, Semi-Empirical Models and SNAP Biophysical Processor Approach. *Agronomy*, 9: 663.
- Shao G., Han W., Zhang H., Liu S., Wang Y., Zhang L., Cui X., 2021. Mapping maize crop coefficient Kc using random forest algorithm based on leaf area index and UAV-based multispectral vegetation indices. *Agricultural Water Management*, 252:106906.
- Togliatti T.K., Hartman T., Walker V.A., Arkebaour T.J., Suyker A.E., VanLoocke A., Hornbuckle B.K., 2019. Satellite L-band vegetation optical depth is directly proportional to crop water in the US Corn Belt. *Remote Sens. Environ.*, 223: 111.
- Ventura F., Vignudelli M., Letterio T., Gentile S.L., Anconelli S., 2019. "Remote Sensing and UAV Vegetation Index comparison with On-Site FAPAR Measurement," *IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*, 2019, pp. 202-206.
- Wagle P., Gowda P.H., Xiao X., Kc A., 2016. Parameterizing ecosystem light use efficiency and water use efficiency to estimate maize gross primary production and evapotranspiration using MODIS EVI. *Agric. For. Meteorol.*, 222:87-97.

**VALUTAZIONE DI NUOVE TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO
DELLO STATO IDRICO IN VIGNETO**
*EVALUATION OF NEW TECHNOLOGIES FOR WATER STATUS MONITORING IN
GRAPEVINES*

Mauro Lo Cascio^{1,2}, Massimiliano Giuseppe Mameli³, Daniela Satta³, Ana Fernandes de Oliveira³, Massimo Barbaro⁴,
Silvia Loddo⁴, Gilbert Noun¹, Serena Marras^{1,2}, Donatella Spano^{1,2}, Costantino Sirca^{1,2*}

1 Dipartimento di Agraria, Università di Sassari. Viale Italia, 39 – 07100 Sassari, Italy

2 Fondazione CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), Divisione IAFES. Via De Nicola, 9 – 07100 Sassari, Italy

3 AGRIS Sardegna - Agenzia per la ricerca in agricoltura. Loc. Bonassai S.S. 291 Sassari-Fertilia – Km. 18,600, 07100 Sassari, Italy

4 DIEE - Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica, Università di Cagliari. Piazza D'Armi snc, 09123 Cagliari

*cosirca@uniss.it

Climate Change and water scarcity in the Mediterranean area have led to the implementation of irrigation scheduling and water management strategies using new technologies on vineyards and maintaining wine productivity, quality, and agriculture sustainability. The main objective of this work is to set up new automated sensors for real time monitoring of the vines' water status and presenting preliminary results. The experiment was carried out on *Vitis vinifera* L., cv. Vermentino, in Sardinia – Italy, during a two year campaign (2019 and 2020), imposing two deficit irrigation treatments (moderate and severe water condition). Plant water status indicators were continuously monitored using an automated platform. The data were compared with stem water potential. The preliminary results showed that these technologies could represent user-friendly tools to manage and schedule the irrigation simply and smartly. According to these results, a more efficient management of irrigation for wine grapes could give an innovative solution for the sustainable use of increasingly scarce natural resources as the water for irrigation.

SVILUPPO DI UN ALGORITMO PER LA SEGMENTAZIONE AUTOMATICA DI MODELLI 3D DI PIANTE: UN'APPLICAZIONE PRATICA DI FENOTIPIZZAZIONE IN CONDIZIONI DI STRESS IDRICO

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR AUTOMATED PLANT 3D-MODEL SEGMENTATION: A PRACTICAL APPLICATION ON DROUGHT PHENOTYPING

Riccardo Rossi^{1*}, Sergi Costafreda-Aumedes¹, Luisa Leolini¹, Claudio Leolini², Marco Bindi¹, Marco Moriondo^{1,3}

¹ Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence, Piazzale delle Cascine 18, 50144, Florence, Italy

² Independent Researcher, via dei Tigli 37, 50041, Calenzano, Italy

³ CNR-IBE, via Madonna del Piano 10, 50019, Florence, Italy

* r.rossi@unifi.it

Abstract

In the Mediterranean basin, climate change is leading to an increase of intensity and frequency of drought events with severe consequences for agriculture and global food security. Thus, the monitoring of plant traits under water-stress became essential for improving crop management and adaptation strategies. In this study we developed an innovative image-based algorithm for automated plant three-dimensional (3D)-model segmentation and early water-stress detection. The algorithm was implemented and tested for extracting the main morphological traits (plant height, petioles angle, leaves' area and inclination) of 3D-models acquired by an automatic RGB-based platform and for monitoring the morphological responses of two tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) cultivars under different water treatments (full irrigation vs severe drought). Results pointed out that the proposed methodology could detect changes in architecture immediately after primordial responses to water-stress (~11 days after drought imposition), making of this algorithm a useful tool for automatic phenotyping and infield applications.

Parole chiave

Fenotippizzazione, Analisi dell'immagine, Modellazione 3D, Stress idrico

Keywords

Plant phenotyping, Image analysis, 3D modelling, Water stress

Introduction

The increase of drought events due to climate change is expected to have a great impact on the main crops' yield. As a consequence, the maintenance of agricultural production represents a tremendous challenge for satisfying the unceasing food demand of the global growing population. The monitoring and quantification of plants' morpho-physiological responses to environmental limiting conditions could provide potential hints for the selection of cultivars with improved stress tolerance and yield potential. Image-based plant phenotyping is recognized as the primary driver for advancing in high-throughput assessment of crop phenotypic responses to meteorological perturbations (Walter et al. 2015). Recent technological advancements have paved the way for automation in images acquisition (Pieruschka and Schurr 2019), allowing simultaneous multiple-plant scanning by phenotyping platform equipped with red, green and blue (RGB) cameras (Rossi et al, 2020) for quantifying morpho-physiological traits related to plant growth and abiotic stress response (e.g., drought phenotyping; Briglia et al. 2019). The evolution in image-processing techniques led to the implementation of tools to access the plant's spatial geometry by generating faithful three-dimensional (3D)-models from acquired 2D images and to collect large amounts of morphometric traits in a non-invasive way. However, further efforts in automatic

measuring process are needed for drought phenotyping, which requires immediate monitoring of plant growth status over the time.

In this context, the development of fully automated algorithms able to segment 3D-models into individual organs is highly desirable for rapid and accurate traits extraction and growth monitoring. Most of the existing algorithms allow the automated segmentation of complicate 3D-structures for retrieving the main plant architectural features such as stem and leaves (Chaivivatrakul et al. 2014; Gélard et al. 2017; Li et al. 2020) but few applications have focused on monitoring the temporal variation in plant's morphology during growth stages (Paprocki et al. 2012; McCormick et al. 2016; Elnashef et al. 2019). Despite results obtained in image-based drought detection (Janni et al. 2019; Kim et al., 2020), the automated characterization of plant architectural responses to water stress at single-organ level via 3D-model segmentation algorithms remains a lack of smart plant phenotyping. In this regard, a fully automated image-based quantification of plants' morphological responses under drought stress over the time is necessary for improving crops tolerance to unfavourable environment and for selecting *ad-hoc* adaptation options to cope climate change impacts.

Looking at these considerations, we presented an innovative image-based algorithm integrated with a phenotyping platform for automated segmentation of plant 3D-models and main morphometric traits extraction (plant height, petioles inclination, leaves area and single-leaf angle) over the time. In particular, we tested the reliability of the proposed method in monitoring the morphological responses of two tomato cultivars (*Solanum Lycopersicum* L.) subjected to different water treatments (full irrigation, 100% ETp and severe drought, 0% ETp) for the early detection of drought stress.

Materials and Method

Experimental setup and plant material

The experimental phase was conducted on an automated and low-cost phenotyping platform (Rossi et al., 2020) at Department of Agri-food Production and Environmental Sciences (DAGRI) - University of Florence, Italy. This system is basically composed by 9 rotary plates (\varnothing 15 cm) equipped with weight sensors and a sliding system supporting a common RGB camera for automated weighing and 360° scan of potted plants.

Seeds of two commercial tomato cultivars, “*Costoluto Fiorentino*”, C and “*Gianna*”, G, were sown in 12 single-plastic pots (6 plants x cv.) filled with 70% topsoil and 30% sand. In order to minimize losses of substrate and evaporation, each pot was sealed both on top and bottom. The seedlings were maintained under controlled grown conditions (temperature, humidity, radiation and irrigation) in an environmentally-controlled climate chamber until the 2nd true leaf (L2) on main shoot unfolded (corresponding to the 12th BBCH growth stage). Afterwards, seedlings were randomly separated into two groups with 6 plants per cultivar for each treatment: (a) full irrigation (T100),

replenishing the consumed water with watering every other day and (b) severe drought (T0) with no-irrigation.

From the 12th BBCH growth stage and for 20 consecutive days, the weight and 60 RGB-images of each sample were daily acquired using the platform. A 3x3 cm Rubik’s cube was placed next to the plant as reference for successive model’s 3D coordinates (xyz) retrieving. On the last day of monitoring, plant height, petiole inclination, single-leaf area, total leaves surface and single-leaf angle of all 12 plants were collected through destructive samplings. Subsequently, images acquired by the platform were processed via a Structure for Motion (SfM) approach for generating a 3D-model of each plant as described in Rossi et al. (2020).

Automated 3D-model segmentation

An image-based segmentation algorithm built in MATLAB[®] environment was applied on the 3D-models generated during the 20 days of monitoring to separate point cloud regions corresponding to plants organs (i.e., main stem, petioles and leaves) and extract the main morphometric traits. The overall workflow for the single-plant phenotyping is displayed in Figure 1.

1. Scene Orientation & Scaling

In order to orient the plant 3D-point cloud (xyz), the camera tilt value (αC) is required. A spatial rotation of the model’s y -axis and z -axis coordinates around the x -axis is performed for the scene orientation along the main stem (z -axis), according to αC . Subsequently, the distance in the Euclidean space between the closest fitted vertices of the Rubik’s cube is used for retrieving the actual size of the whole model by scaling the xyz -points. Finally, the Rubik’s cube is removed from the point cloud.

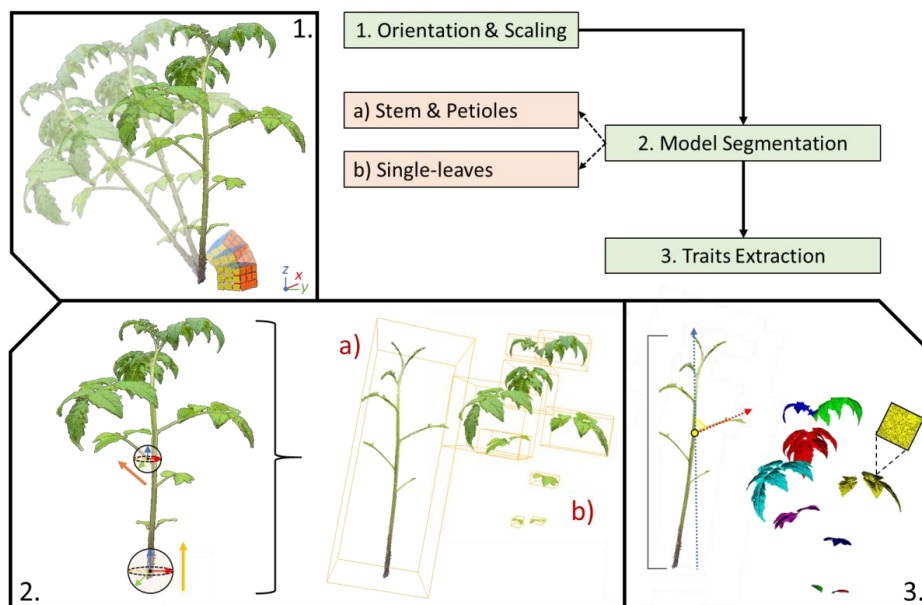


Fig. 1. Flusso di lavoro dell’algoritmo per la segmentazione automatizzata di modelli 3D di piante e l’estrazione di tratti morfologici.

Fig. 1. Algorithm workflow for automatic plant 3D-model segmentation and morphometric traits extraction.

2. Model Segmentation

Stem & Petioles

Aiming to automatically segment each plant 3D-model into individual organs (e.g., main stem, petioles and leaves), the xyz -points of the model are enclosed in a sphere with variable radius (based on the actual size of the organ to be segmented) that climbs along the main stem and petioles. In particular, the initial centroid of the sphere (c_s) is automatically positioning in correspondence of the onset of the stem and the actual radius is retrieved.

Then, the main stem segmentation is obtained through a local Principal Component Analysis (PCA) performed on the k -points enclosed on the sphere. Indeed, the resulting ordered eigenvalues ($\lambda_0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2$) provides information about the shape of k -points distribution (Moriondo et al., 2016) and they are used to discern between stem and other organs (e.g., petioles and/or leaves). Once the k -neighboring points around c_s meet the required spatial conditions, they are segmented as stem and the sphere moves along the z -axis considering both the curvature and shrinkage of the stem. Above the epicotyl, the radius of the sphere is invariable (r_{si}), according to the low variability in the stem diameter of tomato seedlings. Accordingly, the main stem is segmented by the fusion of all points enclosed on the total amount of spheres well fitted to the plant's point cloud.

At each shift of the sphere along the vertical axes, a spherical shell (inner radius = r_{si} and outer radius = $r_{si} + 0.5*r_{si}$) is constructed around c_s for petioles segmentation. The points intercepted by the surrounding shell are used to detect single-petioles insertion (p_{in}) on the main stem. When the sphere reaches the top of the plant, the points of the stem are removed from the point cloud. Then, the points enclosed on a sphere that moves along petioles from each p_{in} are tested via PCA and segmented when a double eigenvalues-based condition aimed to avoid the contemporary selection of leaves is met. At this point, petioles' point cloud is removed from the model.

Single-leaves

A Euclidean cluster extraction is performed on the remaining groups of xyz -points for detecting and separating all the individual leaves. The actual phyllotaxy of tomato models is retrieved by associating each cluster to the closest p_i and numerating leaves in ascending order from the bottom to the top of the plant.

3. Morphometric Traits Extraction

Once the model is segmented into individual organs, several morphological traits are automatically measured. In particular, the plant height (PH) is retrieved as the straight-line distance in the Euclidean space between the bottom and the apex of the main stem. Petiole inclination (PI) is extracted by the angle between its fitted plane and the zenith. For each segmented leaf, a 3D α -shape is calculated for single-leaf area (LA) extraction while the Total Leaf Area (TLA) is derived as the sum of individual LAs. Finally, the leaf inclination (LI) is obtained by retrieving the angle between the vector normal to the plane fitted on single-leaf and the zenith.

Statistical Analysis

The coefficient of determination (R^2), the Root Mean Squared Error (RMSE) and the Akaike information criterion (AIC) statistical tests were calculated between observed and simulated data for validating the proposed segmentation method. At leaf-level, we selected a specific subsampled of the more representative and stable leaves during the growth cycle (from the 1st (L1) to the 5th (L5) true leaves).

Results

Results highlighted the effectiveness of the algorithm in plant 3D-model segmentation and morphometric traits extraction. During the 20 days of monitoring, the proposed algorithm performed the 100% segmentation of the plants' height, while reached a success rate of 89.33% in extracting petioles. Moreover, a total of 1010 subsampled leaves were segmented with a success rate of 98.61%.

As reported in Table 1, the proposed methodology guaranteed high agreement and accuracy in estimating plant height (PH; $R^2 = 0.99$, RMSE = 0.31 cm and AIC = 7.09), petioles inclination (PI; $R^2 = 0.96$, RMSE = 1.58 deg° and AIC = 24.07), leaves area (LA; $R^2 = 0.96$, RMSE = 1.80 cm² and AIC = 22.21) and single-leaf inclination (LI; $R^2 = 0.83$, RMSE = 1.36 deg° and AIC = 17.83) of all cultivars under full irrigation (T100) and severe drought (T0). The PH extraction was not influenced by the cultivar and/or treatment, while the estimation of LA showed higher errors

Tab. 1. Analisi statistiche (R^2 , RMSE e AIC) per l'estrazione dell'altezza della pianta (PH), l'inclinazione dei piccioli (PI), l'area (LA) e l'angolo fogliare (LI) dai modelli 3D delle cultivar C e G ben (T100) e non irrigate (T0).

Tab. 1. Statistical tests (R^2 and RMSE) and goodness-of-fit (AIC) for plant height (PH), petioles inclination (PI), single-leaf area (LA) and inclination (LI) extracted from C and G cv. 3D models under full irrigation (T100) and severe drought (T0).

Cultivar	Trait	T	R^2	RMSE	AIC
C	PH	0	0.99	0.52 cm	8.61
C	PH	100	0.99	0.53 cm	3.53
G	PH	0	0.99	0.04 cm	6.51
G	PH	100	0.98	0.16 cm	9.72
C	PI	0	0.95	1.06 deg°	25.81
C	PI	100	0.99	1.56 deg°	15.79
G	PI	0	0.92	3.25 deg°	37.76
G	PI	100	0.99	0.43 deg°	16.93
C	LA	0	0.93	0.95 deg°	19.87
C	LA	100	0.94	0.66 cm ²	20.77
G	LA	0	0.99	2.13 cm ²	17.74
G	LA	100	0.96	3.47 cm ²	30.44
C	LI	0	0.88	2.49 cm ²	12.63
C	LI	100	0.96	0.70 deg°	9.69
G	LI	0	0.52	1.59 deg°	25.25
G	LI	100	0.94	0.65 deg°	23.73

in plants with more developed canopy (i.e., *G* cv.) regardless of the irrigation level. Contrariwise, the accuracy in organs inclination (i.e., PI and LI) extraction was mostly dependent by treatment, with average better performances in plants under T100 compared to T0 both in *C* and *G*.

The algorithm allowed to monitor the morphological variations of tomato plants subjected to different water treatments over 20 days at single-organ level (Figure 2).

The temporal evolution of the main morphometric traits was differently influenced by drought on each cultivar. Specifically, *C* showed minor differences in all estimated values between full irrigated (T100) and stressed plants (T0) compared to *G*. In stressed *C* samples, the PH growth rate decreased from 36 DAS while TLA has reduced due to the detachment up to 4 true leaves in the period from 33 DAS to 43 DAS. Moreover, PI (results not shown) and LI trend of youngest leaves (L4 and L5) flexed after 7 DAE under T0. The PH growth rate of stressed *G* plants has reduced after 29 DAS, increasing exponentially the differences with control until the end of experiment. Similarly, the TLA under T0 was equal to unstressed samples until 32 DAS, whereupon it remained stable reaching a value 22.64% lower than in irrigated plants. Some differences in average PI (5.28 deg°) and LI (12.91 deg°) were revealed on the last five days of monitoring with a reverse trend between full irrigated and stressed plants.

Discussion and Conclusions

The image-based algorithm proposed in this study has proven to be a reliable tool for automatic 3D-plant segmentation and drought phenotyping. Differently to conventional destructive and time-consuming methods, our algorithm combined with automatic platform is able to efficiently estimate the architecture of plants at single-organ level, and also monitoring morphological changes in response to drought.

The results showed that variations in the main morphometric traits triggered with drought-stress are detectable in tomatoes from the early growth stages. In particular, first responses to water-stress were observed ~11 days after drought imposition. Our results show that the most effective indicators of water-stressed phenotypes were plant height and leaves area, which agree with Zhou et al. (2017) and Janni et al. (2019). In this context, the proposed methodology allowed to differentiate the response of two cultivar to water stress, being “*Gianna*” (*G*) more susceptible than “*Costoluto Fiorentino*” (*C*) to water stress. This is probably related to the greater development of *G* samples (Fig. 2) which led to a more conservative growth in water-losing organs (i.e., stem and leaves) compared to control in correspondence of soil moisture decrease. These findings are in accordance with previous studies on vegetables (Liu and Stützel, 2004; Conti et al., 2019) who reported a reduction in epigeal organs development as a strategy for maintaining water use under drought. Conversely, the leaves’ fall in *C* plants under T0 evidences

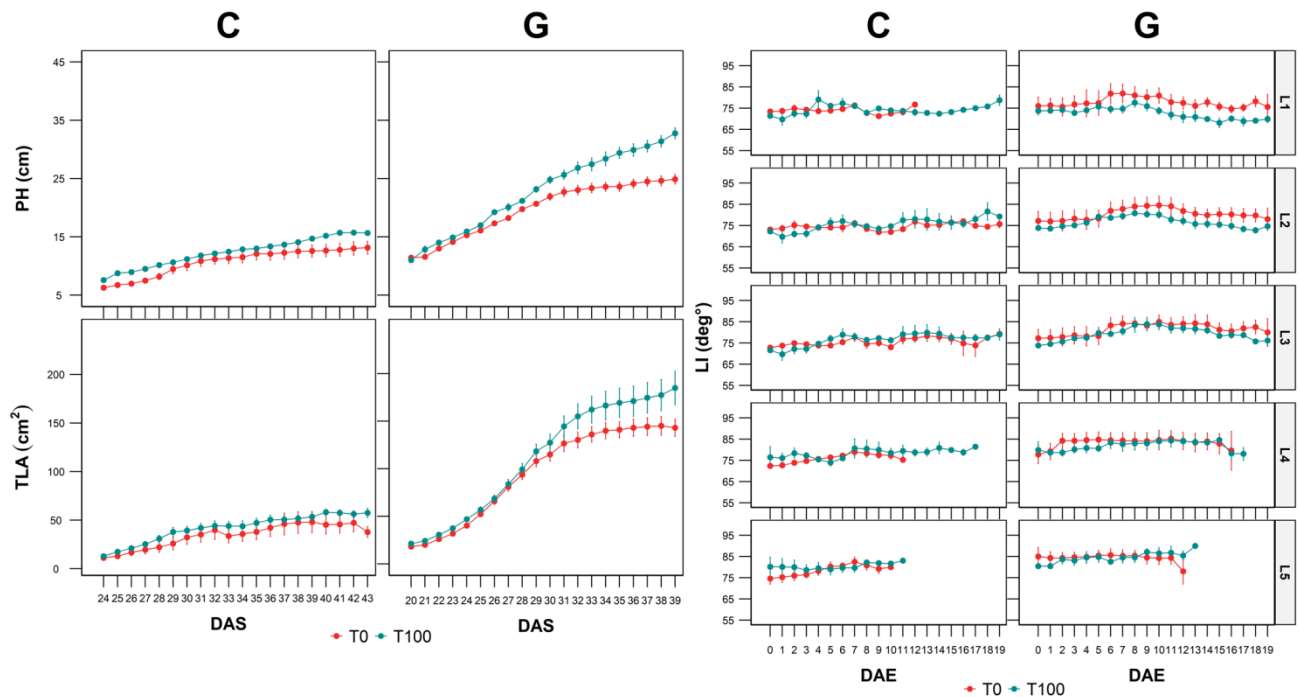


Fig. 2. Evoluzione durante 20 giorni a partire dalla semina (DAS) e dall'emergenza (DAE) dell'altezza della pianta (PH), della superficie fogliare totale (TLA) e dell'inclinazione della singola foglia (LI; dalla 1° alla 5° foglia vera) estratte dalle piante delle due cultivar *C* e *G* ben (T100) e non irrigate (T0). Ogni punto rappresenta la media dei valori e le barre verticali l'errore standard.

Fig. 2. Evolution during 20 Days After Sowing (DAS) and Days After Emergence (DAE) of the estimated plant height (PH), Total Leaf Area (TLA) and leaf inclination (LI; from 1st to 5th true leaves) in *C* and *G* cv. under full irrigation (T100) and severe drought (T0). Each data point is the average of values and vertical bars indicate standard error.

an alternative strategy to regulate water loss by reducing transpiration and maintaining a growth rate similar to full irrigated samples (Torrecillas et al, 1995).

Considering the complete recovery reachable by stressed tomato seedlings after tempestive re-watering treatments (Tamburino et al., 2017), our methodology could provide relevant information for appropriate crop management in drought conditions. The use of the algorithm for the monitoring of the plant physiological status will be the next goal in order to improve crops resilience to abiotic stress and to transfer the acquired knowledge in open field.

References

- Briglia N., Montanaro G., Petrozza A., Summerer S., Cellini F., Nuzzo V., 2019. Drought phenotyping in *Vitis vinifera* using RGB and NIR imaging. *Scientia Horticulturae*, 256 (108555): 1:10.
- Chaivivatrakul S., Tang L., Dailey M.N., Nakarmi A.D., 2014. Automatic morphological trait characterization for corn plants via 3D holographic reconstruction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 109: 109-123.
- Conti V., Mareri L., Faleri C., Nepi M., Romi M., Cai G., Cantini C., 2019. Drought stress affects the response of italian local tomato (*solanum lycopersicum* L.) varieties in a genotype-dependent manner. *Plants*, 8 (9): 1-20.
- Dawei L., Shi G., Kong W., Wang S., Chen Y., 2020. A leaf segmentation and phenotypic feature extraction framework for multiview stereo plant point clouds. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13: 2321-2336.
- Elnashef B., Filin S., Lati R.N., 2019. Tensor-based classification and segmentation of three-dimensional point clouds for organ-level plant phenotyping and growth analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156: 51-61.
- Gélar W., Devy M., Herbulot A., Burger P., 2017. Model-based segmentation of 3D point clouds for phenotyping sunflower plants. 12th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISAPP 2017), Porto, Portugal: 459-467. Janni M., Coppede M., Bettelli M., Briglia N., Petrozza A., Summerer S., Vurro F., Danzi D., Cellini F., Marmiroli N., Pignone D., Iannotta S., Zappettini A., 2019. In vivo phenotyping for the early detection of drought stress in tomato. *Plant Phenomics*, 2019: 1-10.
- Kim S.L., Kim N., Lee H., Lee E., Cheon K.-S., Kim M., Baek J., Choi I., Ji H., Yoon I.S., Jung K.-H., Kwon T.-R., Kim K.-H., 2020. High-throughput phenotyping platform for analyzing drought tolerance in rice. *Planta*, 252 (3): 1.18.
- Liu H., Stützel H., 2004. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 102 (1): 15.27.
- McCormick R.F., Truong S.K., Mullet J.E., 2016. 3D sorghum reconstructions from depth images identify QTL regulating shoot architecture. *Plant Physiology*, 172 (2): 823-834.
- Moriondo M., Leolini L., Staglianò N., Argenti G., Trombi, G., Brilli L., Dibari C., et al., 2016. Use of digital images to disclose canopy architecture in olive tree. *Scientia Horticulturae*, 2019:1-13.
- Paproki A., Sirault X., Berry S., Furbank R., Fripp J., 2012. A novel mesh processing based technique for 3D plant analysis. *BMC Plant Biology*, 12 (1): 63-76.
- Rossi R., Leolini C., Costafreda-Aumedes S., Leolini L., Bindi M., Zaldei A., Moriondo M., 2020. Performances evaluation of a low-cost platform for high-resolution plant phenotyping. *Sensors*, 2020 (3150): 1-16.
- Tamburino R., Vitale M., Ruggiero A., Sassi M., Sannino L., Arena S., Costa A., et al., 2017. Chloroplast proteome response to drought stress and recovery in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *BMC Plant Biology*, 17 (40): 1-14.
- Torrecillas A., Guillaume C., Alacròn J.J., Ruiz-Sánchez M.C., 1995. Water relations of two tomato species under water stress and recovery. *Plant Science*, 105 (1995): 169-176.
- Walter A., Liebisch F., Hund A., 2015. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. *Plant Methods*, 11 (1): 1-11.
- Zhou R., Yu X., Ottosen C.O., Rosenqvist E., Zhao L., et al., 2017. Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biology*, 17 (24): 1-13

PREVISIONE DELLA DATA DI GERMOGLIAMENTO DELLA VITE PER LA DIFESA DALLE GELATE NELLA ZONA DOC FRIULI COLLI ORIENTALI

PREDICTION OF GRAPEVINE BUDBURST DATE TO PREVENT SPRING FROST DAMAGES IN THE DOC AREA FRIULI COLLI ORIENTALI

Andrea Cicogna^{1*}, Valentina Gallina¹, Paolo Sivilotti², Francesco Degano³, Davide Cisilino³

¹ ARPA-FVG – S.O.C. Osmer, Via Natisone, 43, 33057 Palmanova (UD) - ² Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali, via delle Scienze 2016, Udine

³ Consorzio tutela vini Friuli Colli Orientali e Ramandolo - P.zza XXVII maggio, 11 33040 Corno di Rosazzo (UD)

*andrea.cicogna@arpa.fvg.it

Abstract

The time when the phenological stage called “budburst” is reached, is well described by the “*Thermal Time*” models, which are based on the accumulation of “degree days” (the GDD, Growing Degree Day), and their prediction is particularly precise if these models are corrected with an appropriate water balance.

Phenological records collected since 2000 up to now, show that in the “DOC Friuli Colli Orientali” area the beginning of vegetative cycle for grapevine is on average more and more anticipated, exposing the young growing vegetation to a greater risk of “late” frosts, as happened in the striking case of 21 April 2017.

The early sprouting is well correlated to the -statistically significant- satisfaction of thermal accumulations (GDD) threshold associated to the beginning of budburst. The ARPA-FVG meteorological observatory (OSMER) and the DOC Friuli Colli Orientali and Ramandolo Consortium, have developed an operative model for forecasting the budburst time, that will be helpful for technicians and wine growers in order to adopt more effective strategies to cope with frost events.

Parole chiave: Friuli Venezia Giulia, fenologia, vite, gelate, cambiamenti climatici, GDD

Keywords: *Friuli Venezia Giulia, phenology, vine, freezing, climate change, GDD*

Introduzione

Le gemme dormienti della vite si sviluppano nell’arco di due stagioni; nella prima vengono mantenute dormienti grazie all’inibizione ormonale, mentre nella seconda, a partire più o meno da dicembre, è la temperatura che decide la data di germogliamento (Keller 2015).

La precocità di germogliamento è legata al fattore genetico varietale e vi sono stati diversi ricercatori che hanno sviluppato modelli matematici per la valutazione della data di questa importante fase fenologica (McIntyre *et al.* 1982; Schultz 2000; García de Cortázar-Atauri 2006; Webb *et al.* 2007). Molti di questi modelli comunque si basano su dati fenologici raccolti non sempre in maniera sistematica e precisa, e la possibilità di utilizzare serie storiche affidabili risulta di fondamentale importanza per calibrare precisamente i modelli fenologici. Dal 1991 al 2021, in Friuli Venezia Giulia si sono verificate gelate tardive in 8 annate, che hanno provocato danni più o meno estesi sulla pianura friulana. La gelata del 21 aprile 2017 non è stata certo la più intensa tra le gelate tardive (Fig.1), ma certamente è stata una delle più dannose per la vite. L’anticipo nello sviluppo della coltura, causato da una primavera particolarmente calda, ha fatto sì che alla data in cui si è verificato l’evento, le varietà più precoci di vite fossero già particolarmente sensibili ai danni da gelo. I danni sono stati ben documentati da un’indagine condotta da ERSa e dai tecnici “sissar” del Consorzio delle DOC FVG sulla coltura con oltre 1700 rilievi sui oltre 25000 ha destinate a vite in regione (Cicogna *et al.* 2017) interessando anche la zona DOC Friuli Colli Orientali.

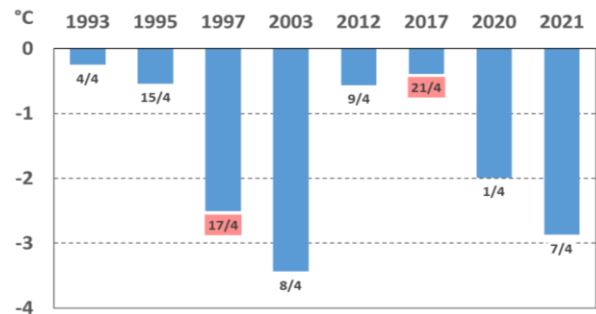


Fig. 1. Temperature minime raggiunte durante le gelate nella pianura del FVG (media di 10 stazioni) e giorno del mese in cui si sono verificate.

Fig. 1. Minimum temperatures reached during frost events in the FVG plain area (average of 10 weather stations) and dates when recorded.

In tale zona le serie fenologiche raccolte a partire dal 2000 indicano un progressivo anticipo nel germogliamento della coltura (Fig. 2). Anche se il trend individuato non risulta essere statisticamente significativo (test di Mann-Kendall), da parte del Consorzio è sentita la necessità di implementare un modello fenologico capace di modellare e, per quanto possibile, prevedere il germogliamento della coltura al fine di poter apprestare, in caso di previsioni di gelata, eventuali possibili tecniche di difesa.

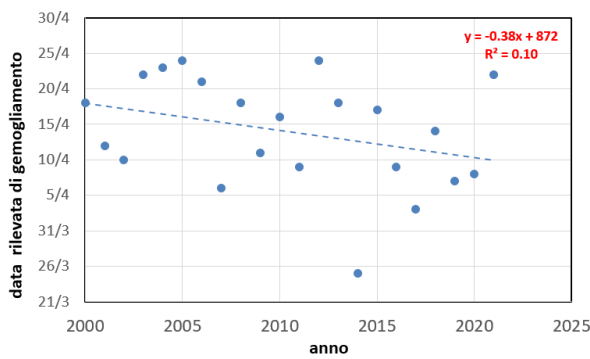


Fig. 2. Data media di germogliamento (BBCH 8) del Pinot Bianco a Torreano nel periodo 2000-2021.

Fig. 2. Mean budburst date (BBCH 8) of Pinot blanc in Torreano in the period 2000-2021.

La collaborazione tra l'osservatorio meteorologico di ARPA-FVG e il Consorzio ha portato allo sviluppo di un modello già utilizzato nelle primavere 2020 e 2021.

Materiali e Metodi

Si è testato un classico modello di tipo *Thermal Time* basato sull'accumulo di gradi giorno (GDD - Growing Degree Day). Come è noto in molti di questi modelli l'accumulo dei gradi giorno è ottenuto sommando nel tempo le sole differenze positive tra la temperatura media giornaliera e una temperatura di base.

Nello studio qui presentato si sono utilizzati i valori di temperatura di base e sommatoria termica al germogliamento individuati in Veneto su Chardonnay (Fila 2012).

$$GDD = \sum_{01.01}^{31.12} [T_{med} - 7.6]$$

Sommatoria termica al germogliamento = 122 GDD

Partendo da questi parametri, si è applicato il modello con i valori meteorologici registrati dal 2000 al 2021 nella stazione meteorologica di Cividale del Friuli.

Si sono quindi confrontate le date di germogliamento rilevate in campagna per Pinot bianco - che presenta un calendario fenologico simile allo Chardonnay - con le date di raggiungimento dei 122 GDD (Tab. 1, colonne 1 e 2).

In un secondo tempo, per ricercare una migliore correlazione tra dati misurati e previsti, le sommatorie termiche sono state corrette con l'uso di un bilancio idrico semplificato. Nei giorni in cui il bilancio idrico indicava una situazione di stress idrico le unità termiche non venivano cumulate.

Il bilancio idrico implementato prevede:

- passo di calcolo giornaliero
- un serbatoio con AWC (available water content) pari a 100 mm.
- consumi giornalieri pari all'evapotraspirazione di riferimento fino a che la riserva idrica non sia maggiore di zero, altrimenti si annullano.
- La quota di pioggia che supera l'AWC non viene conteggiata (o in altri termini si può dire che il

ruscellamento e la percolazione si esauriscono in un solo giorno)

- Lo stress idrico inizia quando la riserva è inferiore a 30 mm.

Le date in cui ogni anno sono raggiunti 122 GDD così ricalcolate sono riportate in Tab. 1 colonna 3.

Tab. 1. Data media rilevata di germogliamento (BBCH 8) a confronto con la data di raggiungimento di 122 GDD in modello normale e modificato.

Tab. 1. Mean observed budburst date (BBCH 8) compared with prevision date based on normal/modified 122 GDD model.

Anno	Colonna 1: Data media rilevata nel consorzio per BBCH 8 su Pinot Bianco	Colonna 2: data raggiungimento 122 GDD	Colonna 3: data raggiungimento 122 GDD con correzione per stress idrico	differenze in giorni	
				colonna 1 - colonna 2	colonna 1 - colonna 3
2000	18/4	20/4	20/4	-3	-3
2001	12/4	11/4	11/4	1	1
2002	10/4	11/4	11/4	-1	-1
2003	22/4	23/4	27/4	-1	-6
2004	23/4	21/4	21/4	2	2
2005	24/4	21/4	21/4	3	3
2006	21/4	23/4	23/4	-2	-2
2007	6/4	4/4	5/4	2	1
2008	18/4	23/4	23/4	-6	-6
2009	11/4	12/4	12/4	-2	-2
2010	16/4	20/4	20/4	-4	-4
2011	9/4	8/4	8/4	1	1
2012	24/4	29/3	22/4	26	2
2013	18/4	23/4	23/4	-5	-5
2014	25/3	27/3	27/3	-3	-3
2015	17/4	15/4	15/4	2	2
2016	9/4	9/4	9/4	-1	-1
2017	3/4	1/4	1/4	2	2
2018	14/4	15/4	15/4	-2	-2
2019	7/4	5/4	5/4	2	2
2020	8/4	9/4	11/4	-2	-3
2021	22/4	14/4	22/4	8	0

Infine, per individuare eventuali trend significativi nel raggiungimento della data utile per cumulare i 122 GDD, con o senza correzione del bilancio idrico, si è applicato il modello alla serie storica 1961– 2021 osservata nella stazione di Udine, che si trova a circa 10 km dalla zona indagata.

Risultati e discussione

Le differenze tra le date simulate di germogliamento (raggiungimento dei 122 GDD), che non prevedono alcuna correzione per le situazioni di stress, e quelle rilevate in campo sono riportate in Tab. 1, nella penultima colonna.

In genere tali differenze sono contenute, ma in alcuni anni, come in particolare nel 2012 e nel 2021, si riscontra un forte anticipo nella data simulata rispetto a quanto verificato in campo. Incidentalmente si nota come in tali anni si fosse registrata una forte siccità primaverile. L'interpolazione lineare tra dati simulati e reali (Fig. 2) mostra un'interpolante con un coefficiente angolare pari a 0.75 e un coefficiente di determinazione, R^2 pari a 0.48.

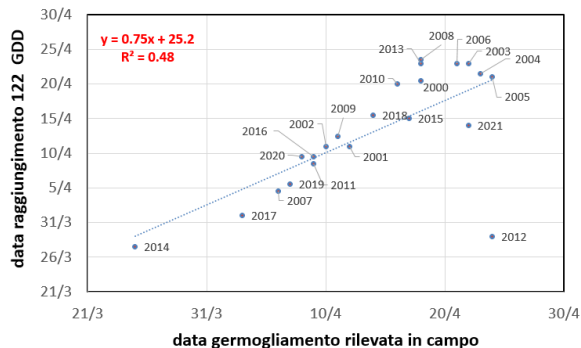


Fig. 3. Date di germogliamento vs. date di raggiungimento di una somma termica pari a 122 GDD. La somma termica non prevede alcuna correzione per situazione di stress idrico.

Fig. 3. Budburst dates vs. time when GDD=122 was reached. The thermal accumulation does not consider any correction for water stress situations.

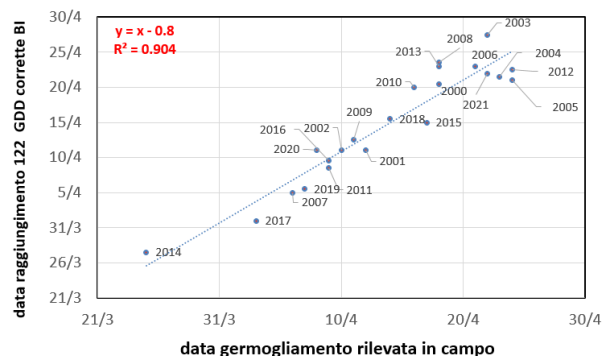


Fig. 4. Date di germogliamento vs. date di raggiungimento di una somma termica pari a 122 GDD. La somma termica viene corretta in situazioni di stress idrico.

Fig. 4. Budburst dates vs. time when GDD=122 was reached. The thermal accumulation was corrected for water stress situations.

In situazioni di stress idrico primaverile, l'assorbimento radicale risulta difficile per la pianta; la linfa che raggiunge i tralci contribuisce ad idratare correttamente solamente le gemme ad inizio e fine del capo a frutto, originando un gradiente di fenologia molto forte. Il monitoraggio della fenologia sposta quindi i valori medi in basso a causa della presenza di queste gemme "ritardate". Questa situazione spiega perché il modello normale fallisca nelle due annate sopra indicate.

Il confronto tra le date simulate di germogliamento, che prevedono una correzione per le situazioni stress, e quelle rilevate in campo sono riportate in Tab. 2, nell'ultima colonna.

Si può notare come queste nuove differenze siano per lo più coincidenti a quanto registrato nel caso precedente. I valori

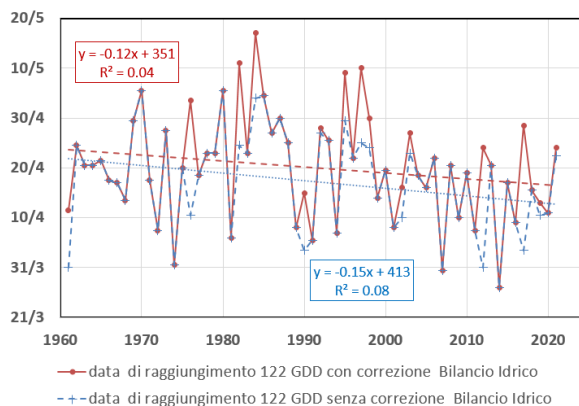


Fig. 5. Data di raggiungimento di una somma termica pari a 122 GDD con (rosso) e senza (blu) correzione con il bilancio idrico (dati meteo 1961- 2021 della stazione di Udine).

Fig. 5. Udine 1961-2021. Annual dates when GDD=122 was reached, with (red) or without (blue) water balance correction (data collected from the weather station of Udine).

si differenziano di più negli anni 2012 e 2021, dove la stima nella data di germogliamento risulta migliore.

In questo caso l'interpolazione lineare tra dati simulati e quelli reali (Fig. 4) mostra una retta interpolante con un coefficiente angolare pari a 1 e un R^2 pari a 0.90.

In Fig. 5 si vede l'andamento del raggiungimento dei 122 GDD, con e senza correzione con il bilancio idrico, dal 1961 al 2021 per la serie osservata dalla stazione meteo di Udine.

Si individuano due trend decrescenti con coefficiente angolare pari rispettivamente a -0.12 e -0.15 che identificano quindi degli anticipi di 1.2-1.5 giorni a decennio. In entrambi i casi i coefficienti di determinazione (la variabilità spiegata dai trend) sono bassi, ma si può comunque notare che il trend interpolante per le GDD non corrette risulta statisticamente significativo (P-value=0.015) al test di Mann-Kendall.

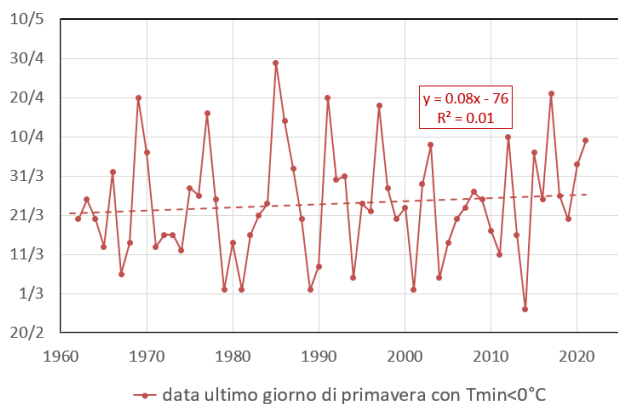


Fig. 6. Data dell'ultimo giorno primaverile in cui la temperatura minima dell'aria sia scesa sotto zero. (dati meteo 1961- 2021 della stazione di Udine).

Fig. 6 .Udine 1961-2021: Spring date with minimum air temperatures below zero. (data collected from the weather station of Udine in the period 1961-2021).

Conclusioni

Il progressivo anticipo nel germogliamento della vite, almeno per le varietà Chardonnay e Pinot bianco, registrato nella zona del Consorzio tutela vini Friuli Colli Orientali e Ramandolo, trova un suo riscontro nel progressivo anticipo del raggiungimento della sommatoria termica di 122 GDD (con o senza correzione) nella serie sessantennale di Udine. Tale risultato è in linea con quanto emerso nello studio ARPA-FVG (2018) dove veniva evidenziato come nella pianura regionale si susseguano primavere via via più calde. Per contro l'analisi effettuata nella stessa serie climatica per individuare ogni anno l'ultimo giorno primaverile in cui la temperatura minima dell'aria sia scesa sottozero (Fig. 6) non identifica un analogo trend statisticamente significativo. In ultima analisi la probabilità che si verifichi una gelata tardiva non diminuisce col passare dei decenni.

Quindi la preoccupazione di futuri danni da gelata nella zona su vite sembra essere giustificata; questo anche in considerazione della introduzione di varietà a germogliamento ancora più precoce, come la Glera.

Il lavoro qui illustrato mostra come il modello testato risulti sufficientemente accurato per un suo uso operativo.

L'accuratezza nella individuazione della data di germogliamento aumenta in maniera sensibile utilizzando oltre l'accumulo termico anche la disponibilità idrica.

Dal 2020 il modello sviluppato viene utilizzato operativamente per dare indicazioni tecniche ai consorziati.

Bibliografia

- ARPA-FVG, 2018. Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia. https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/01_REPORT_cambiamenti_climatici_e_impatti_per_il_FVG/impattiCCinFVG_marzo2018.pdf
- Cicogna, A., Tonutti, P., 2017. Gelate primavera 2017: analisi climatologica e danni sulle produzioni. *Notiziario ERSA*, 2017, 2, pp 8-13
- Fila G., 2012. Modelli matematici per l'analisi della variabilità spazio-temporale della fenologia della vite. Tesi di Dottorato - Università Degli Studi Di Padova pp.106
http://paduaresearch.cab.unipd.it/4446/1/tesi_Gianni_Fila.pdf
- García de Cortázar-Atauri I., 2006. Adaptation du modèle STICS à la vigne (*Vitis vinifera* L.). Utilisation dans le cadre d'une étude du changement climatique à l'échelle de la France. PhD thesis of Ecole Supérieure Nationale d'Agronomie de Montpellier.
http://www.inra.fr/ea/sources/index.php?page=detail_the_se&id=200
- Keller M. 2015. *The Science of Grapevines, Anatomy and Physiology*. 2nd Edition. London, Academic Press.
- McIntyre G.N., Lider L.A., Ferrari N.L., 1982. The chronological classification of grapevine phenology. *Am J Enol Vitic*, 33, 80–85.
- Schultz H.R., 2000. Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Aust J Grape Wine Res* 6, 2–12.
- Webb L.B., Whetton P.H., Barlow E.W.R., 2007. Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Aust J Grape Wine Res*, 13, 165–175.

IRRIGAZIONE IN MODELLI ATMOSFERICI DI PREVISIONE E IL SUO IMPATTO SUL SISTEMA TERRESTRE

IRRIGATION REPRESENTATION IN NUMERICAL WEATHER PREDICTION MODELS AND ITS IMPACTS ON THE EARTH SYSTEM

Arianna Valmassoi^{1,2*}, Jimmy Dudhia³, Jan D. Keller^{1,4}

¹ Hans-Ertel-Center for Weather Research, Monitoring and Diagnostic group, Bonn, Germany

² Meteorology Institute, Dept. Geophysics, University of Bonn, Bonn, Germany

³ National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, United States.

⁴ Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany

* avalmass@uni-bonn.de

Abstract

The work presented here summarizes the first implementation of irrigation parameterization into the Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) model for the case study of summer 2015 in Northern Italy, two examples indicating its impact on the Earth system as a whole, and an outlook on the open research topics.

The scheme includes three different irrigation methods (surface, drip, and sprinkler) implemented as the evaporative loss of the water after it leaves the irrigation delivery system. Including any of the irrigation schemes in the simulations, the atmospheric representation expressed through surface temperature, precipitation, and potential evapotranspiration is improved. Irrigation increases the soil moisture and decreases the canopy water requirement, and it affects the surface energy balance. The impact has a diurnal cycle, it is found that the human heat discomfort is decreased during the daytime but increased during the night-time.

While challenges in representing irrigation remain, it is a significant step towards the inclusion of human water use in Earth System models, especially in the context of future (regional) reanalyses and climate predictions.

Parole chiave

Irrigazione, modelli atmosferici, impatti irrigazione, comfort, rianalisi

Keywords

Irrigation, numerical weather prediction models, irrigation impacts, comfort, reanalyses

Introduction

In the recent years, irrigation has been identified as an important land management process since it accounts for 80-90% of the freshwater consumption (Jagermeyr et al. 2015). Further, studies found that it can have a significant impact on the Earth system itself, such as atmospheric local and synoptic circulation (Douglas et al., 2009, Lee et al. 2011, Saeed et al., 2009, Puma and Cook, 2020) and precipitation (Cook et al., 2010, Wei et al., 2013, Valmassoi et al. 2020c). The reason lies in the increase of soil moisture, which causes a change in the surface energy partition. Thus, an increase of evaporation leads to a decrease of the average diurnal surface temperature (except Boucher et al., 2004, explained in Sacks et al., 2009). This has a strong asymmetric seasonal and inter-annual variability (Kueppers et al., 2007, Puma and Cook, 2010, Qian et al., 2013, Thiery et al., 2017, Valmassoi et al. 2020b). Furthermore, an impact on precipitation has been found both in simulations with parameterized convection (e.g. Boucher et al., 2004, Thiery et al., 2017, Pielke et al. 2007, Kuepper et al., 2007) as well as with convection-permitting mode (Valmassoi et al., 2020c). In this regard, it was also shown that irrigation can affect even remote precipitation patterns (Cook et al., 2010, Wei et al., 2013). Further, irrigation can play an important role in shaping hydrometeorological extremes (Miralles et al., 2018, Thiery

et al., 2017) which in turn have a feedback on the terrestrial water cycle. The study here is going to introduce the irrigation parameterizations developed in previous works, the impact of irrigation on canopy water requirement and discuss the need of including them explicitly in future regional or high-resolution reanalyses.

Materials and Methods

This study uses the Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) model (Skamarock et al 2008), due to its capability for multiple nests and high resolution, as well as its use for a wide range of applications across the globe. Valmassoi et al. (2020) developed the first irrigation parameterization for a high-resolution NWP model. As shown in Figure 1, the scheme represent different irrigation methods as evaporative water loss after it leaves the delivery system. For further information on the equations refer to Valmassoi et al. (2020). The schemes are tested for a 3km-resolution area centered on the Po Valley region and

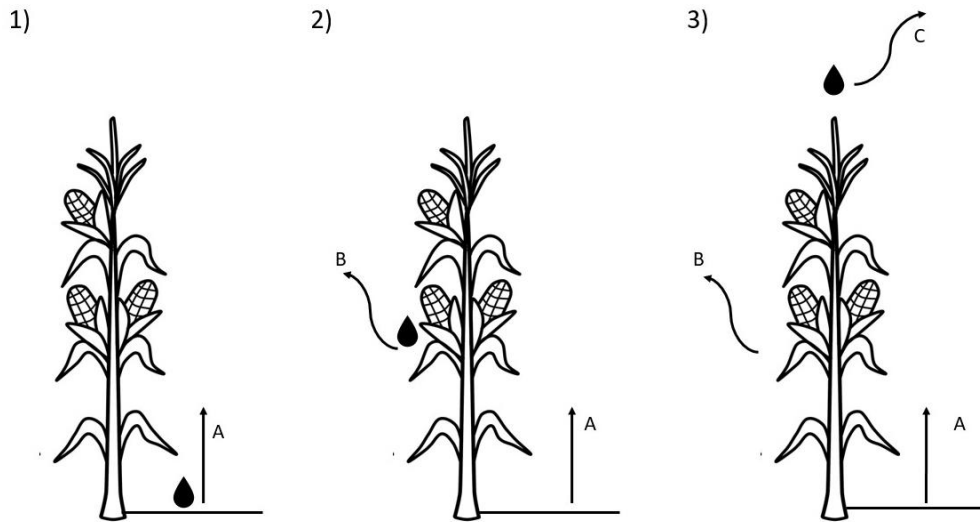


Fig. 1. Schematizzazione delle parametrizzazioni dell'irrigazione che considerano sempre piu' processi di evaporazione (Valmassoi et al. 2020). Gli schemi vengono chiamati "channel", "drip" e "sprinkler" per chiarezza.

Fig. 1. Irrigation scheme with increasing evaporative processes considered (Valmassoi et al. 2020), named as channel, drip, and sprinkler hereafter for clarity.

the May-June-July 2015 period. The July 2015 heat wave maximize the irrigation signal, thus it has been used for validation (Valmassoi et al. 2020a,c)

Results and discussion

Canopy Water Requirement

The canopy water requirement (CWR) is defined as the ration between potential evapotranspiration and actual evapotranspiration, after Valmassoi et. al. 2020b. We already showed that irrigation caused an increase of soil moisture between 30% and up 55% in the heatwave. However, the water applied is not enough to reduce the constant decrease observed in the simulations over the period. The canopy water requirement has a strong diurnal component and Valmassoi et al. 2020b show that it is more greatly affected in the middle of the day (i.e. from 12 to 16 UTC included). Here we average over the whole irrigated area in the Po Valley and we obtain daily averages from middle of the day CWR (Figure 2). The results shows that during most of June 2015, CWR differences between the control run (CTRL) and the irrigated ones (CHAN, DRIP, SPRI) is constant over time and has a lower magnitude than during the onset and evolution of the heatwave, end of June and July respectively. CWR in the control run almost double comparing the values at the beginning of the heatwave, with respect to the end. The values do not increase constantly, as parts of the region reach the soil moisture wilting point. Such effect is not seen in the

irrigated runs, and the CWR increases only slightly throughout the heatwave.

Irrigation in Reanalyses

Reanalyses are a widely used tool to investigate Earth system states and processes in a way that is as complete and consistent as possible. The numerical model are used to simulate the atmosphere and land, and are corrected by the observations. In the last decades the advances in both models and assimilation schemes, as well as the increase in spatio-temporal resolution, help improve the reanalyses. In recent years, the lack of proper representation of anthropogenic processes has become more prominent and the focus of current effort (e.g., Buizza et al., 2018). While studies about irrigation and its impact on the atmospheric component can be dated back to the 2000s, the explicit inclusion in reanalyses is just now started to be addressed. Potential reasons for this can be (a) the lack of comprehensive and extensive knowledge and measurements as a basis for parameterizations and (b) the complexity of the representation of such processes in a numerical model.

As already presented in several case studies mentioned across this work, irrigation has been identified as an important process for soil moisture and near surface representation. As other processes which lack a representation in numerical models, it is argued that the data assimilation step can be used to correct such shortcomings. This method leads to more inconsistencies within the model when there is a consistent spatial correlation of the corrections. For irrigation, this is further complicated by the

fact that a correction to the soil moisture happens most of the times through the 2-meter temperature (Dee et al. 2011). Since misrepresentations in 2-meter temperatures in models can be related to a very wide range of reason, the approach leads to soil moisture being a sink of very different sources of errors (Tuinenburg and de Vries, 2017). This leads to additional complication when comparing soil moisture fields from reanalyses products to observations

In the ongoing increase in resolution and inclusion of more complex land surface models, the need of including explicitly irrigation become more prominent. The vertical distribution of water has been found to be crucial in addressing temperature biases (Barlage et al., 2013), and its anthropogenic modification is going to impact it. Vegetation water regulation plays also a key role in the regulation and evolution of hydrometeorological extreme, such as heatwaves and droughts (Miralles et al, 2019). The Canopy Water Requirement (CWR) shown in the previous section highlights the potentially different feedback effect strengths during a heatwave, in terms of water vapor deficit and plant evapotranspiration, that can be modelled with and without irrigation. Such differences leads to modified feedback loops of the surface-atmosphere interactions, which might leads in a phenomena evolution forced mostly by the larger scales dynamics.

Conclusions

The study presented introduces the first implemented irrigation parameterization within the Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) model. The scheme includes three different possible methods which reflect irrigation water losses after it leaves the delivery system, as reported in Figure 1. The irrigation explicit inclusion in the current numerical weather prediction model is tested for the Po Valley and the summer 2015, due to the irrigation signal maximization.

We show the change in canopy water requirement with the inclusion of irrigation and throughout the heat wave formation and evolution. Firstly, it is clear that, as expected, the canopy water requirement is reduced with irrigation during the heatwave, but also during the previous weeks if compared to the control run. The difference between runs with irrigation and without increases during the hetwave. Afterwards we present a discussion on the need of including explicit irrigation processes in models used to perform reanalyses, especially going at high spatial resolutions. We argue that while there is clearly more work to be done to improve the irrigation representation within models, the usage of data assimilation is not a feasible option in going forward with the modelling effort.

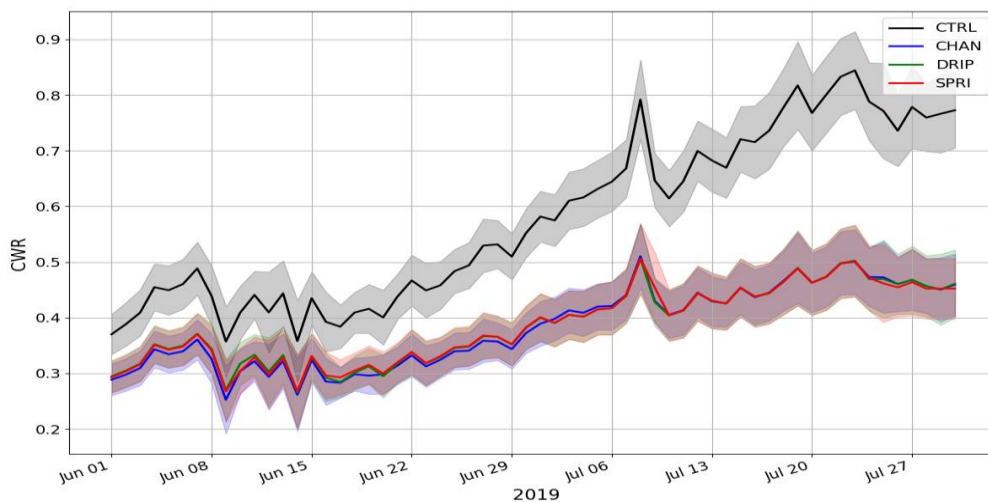


Fig. 2. Serie temporale per dati giornalieri di Canopy Water Requirement (Giugno e Luglio 2015) calcolata come il rapporto tra evapotraspirazione potenziale e attuale. Viene mediata sul'intera parte irrigata della valle del Po, definita da Siebert et al., 2013.

Fig. 2. Temporal time serie of daily Canopy Water Requirement (June and July 2015) calculated as the ratio between potential and actual evapotranspiration. The values are averaged for the irrigated area of the Po Valley as defined by Siebert et al., 2013

References

- Boucher, O., Myhre, G., and Myhre, A.: Direct human influence of irrigation on atmospheric water vapour and climate, *Clim. Dynam.*, 22, 597–603, 2004
- Buizza R. et al. (2018): Advancing Global and Regional Reanalyses. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(8): 139-144
- Calder T. (1976): Efficiency of sprinkler irrigation systems. *J. of the Department of Agriculture, Western Australia*, 4(3).
- Cook B.I., Puma M.J., Krakauer, N.Y. (2010): Irrigation induced surface cooling in the context of modern and increased greenhouse gas forcing. *Clim. Dyn.*, 37:1587–1600
- Douglas, E. M., Beltrán-Przekurat, A., Niyogi, D., Pielke, R. A., and Vörösmarty, C. J. (2009): The impact of agricultural intensification and irrigation on land-atmosphere interactions and Indian monsoon precipitation – A mesoscale modeling perspective, *Global Planet. Change*, 67, 117–128.
- Kueppers L., Snyder M. A. , and Sloan L. C. (2007): Irrigation cooling effect: Regional climate forcing by land-use change. *Geophysical Research Letters*, 34(3)
- Jägermeyr J. et al. (2015): Water savings potentials of irrigation systems: global simulation of processes and linkages, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19:3073–3091
- Lee, E., Sacks, W. J., Chase, T. N., and Foley, J. A. (2011): Simulated impacts of irrigation on the atmospheric circulation over Asia, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 116, 1–13.
- Oleson, K. W., Lawrence, D. M., Bonan, G. B., Flanner, M. G., Kluzek, E., J, P., Levis, S., Swenson, S. C., Thornton, E., Feddema, J., Heald, C. L., Lamarque, J.-F., Niu, G.-y., Qian, T., Running, S., Sakaguchi, K., Yang, L., Zeng, X., and Zeng, X. (2013): Technical Description of version 4.0 of the Community Land Model (CLM), available at: National Center for Atmospheric Research, Boulder CO
- Pielke, R.A.; Adegoke, J.O.; Chase, T.N.; Marshall, C.H.; Matsui, T.; Niyogi, D. (2007): A new paradigm for assessing the role of agriculture in the climate system and in climate change. *Agric. For. Meteorol.*, 142, 234–254
- Puma, M. J. and Cook, B. I. (2020): Effects of irrigation on global climate during the 20th century, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 115, D16120.
- Saeed, F., Hagemann, S., and Jacob, D. (2009): Impact of irrigation on the South Asian summer monsoon, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L20711.
- Sacks, W. J., Cook, B. I., Buening, N., Levis, S., and Helkowski, J. H. (2009): Effects of global irrigation on the near-surface climate, *Clim. Dynam.*, 33, 159–175
- W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, J.G. Powers (2008): A Description of the Advanced Research WRF Version 3, Technical report (1477870X), doi: 10.5065/D6DZ069T
- Qian, Y., Huang, M., Yang, B., and Berg, L. K. (2013): A Modeling Study of Irrigation Effects on Surface Fluxes and Land–Air–Cloud Interactions in the Southern Great Plains, *J. Hydrometeorol.*, 14, 700–721.
- Tuinenburg, O. A., and de Vries, J. P. R. (2017): Irrigation patterns resemble ERA-Interim reanalysis soil moisture additions. *Geophysical Research Letters*, 44, 10341–10348.
- Thiery, W., Davin, E. L., Lawrence, D. M., Hirsch, A. L., Hauser, M., and Seneviratne, S. I. (2017): Present-day irrigation mitigates heat extremes, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 122, 1403–1422
- Valmassoi A., Dudhia J., Di Sabatino S, Pilla F. (2020a): Evaluation of three new surface irrigation parameterizations in the WRF-ARW v3. 8.1 model: the Po Valley (Italy) case study, *Geoscientific Model Development*
- Valmassoi A., Dudhia J., Di Sabatino S, Pilla F. (2020b): Regional Climate Impacts of Irrigation in Northern Italy Using a High Resolution Model. *Atmosphere*
- Valmassoi A., Dudhia J., Di Sabatino S, Pilla F. (2020b): Irrigation impact on precipitation during a heatwave event using WRF-ARW: The summer 2015 Po Valley case. *Atmospheric Research Volume 241*
- Wei J. et al. (2013): Where Does the Irrigation Water Go? An Estimate of the Contribution of Irrigation to Precipitation Using MERRA. *J. Hydrometeorol.*, 14, 275–289

MISFITS*: UN'ALLEANZA IN AMBITO PUBBLICO PER REALIZZARE SERVIZI PREVISIONALI FITOPATOLOGICI OPERATIVI

MISFITS*: AN ALLIANCE BETWEEN PUBLIC ENTITIES FOR THE REALIZATION OF OPERATIONAL FORECASTING OF PLANT DISEASES

Gruppo MISFITS*

MISFITS (Modellistica FIToSanitaria) è un gruppo di lavoro che coinvolge il Centro Agricoltura e Ambiente del CREA e i Servizi Fitosanitari e Agrometeorologici di nove regioni italiane: Abruzzo, Basilicata, Emilia-Romagna, Liguria, Lombardia, Marche, Piemonte, Sardegna, Veneto

* misfits@crea.gov.it

* simoneugomaria.bregaglio@crea.gov.it

Abstract

The European Commission requires that plant diseases are monitored with advanced tools, including forecasting models, early diagnosis systems and technical bulletins. The Italian National Action Plan defines objectives, measures, timeframes and indicators for the implementation of EU directives. In this context, CREA, together with Agrometeorological and Phytosanitary Services of nine Italian Regions, namely Abruzzo, Basilicata, Emilia-Romagna, Liguria, Lombardia, Marche, Piemonte, Sardegna and Veneto, founded the MISFITS group. Started in 2020, MISFITS released a smart app for in-season monitoring activities (MIRA), currently in use on 51 experimental sites, and created a model ensemble within the BioMA platform to forecast the risk of infection of grapevine fungal diseases. This is the first step to realize next-generation digital services which are going to be extended to other pathosystems, in order to offer operational support, free of charge to regional and national public entities.

Parole chiave

Monitoraggio fitopatologico, modelli previsionali, piattaforma di simulazione, supporto alle decisioni

Keywords

Plant disease monitoring, forecasting models, simulation platform, decision support

Introduzione

I patogeni vegetali sono tra le principali cause delle riduzioni di resa e di qualità delle colture agrarie, con conseguenze sostanziali in termini economici e di sicurezza alimentare a livello aziendale, nazionale e globale (Savary et al., 2019). Informazioni quantitative e standardizzate sulle perdite di produzione sono difficili da reperire e confrontare tra diverse colture, agroecosistemi e regioni. Rendere disponibili ad enti pubblici strumenti previsionali basati su modellistica di simulazione all'avanguardia, che siano documentati ed applicabili in ampi contesti, per ottimizzare il momento dell'intervento fitosanitario e per analizzare le perdite di resa è una sfida prioritaria per la comunità scientifica (Donatelli et al., 2017).

Le linee guida della Direttiva Europea 2009/128/CE sull'azione comunitaria per l'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari prevedono che gli organismi nocivi alle colture agrarie vengano monitorati con metodi e strumenti all'avanguardia, tra cui sistemi di allerta, previsione e diagnosi precoce scientificamente validi, consulenze qualificate e bollettini di assistenza tecnica. Il Piano d'Azione Nazionale recepisce le direttive Europee, definendo obiettivi, misure, tempi e indicatori per la loro attuazione. Per favorire l'implementazione degli obblighi legislativi, nel gennaio 2020, il Centro Agricoltura e Ambiente del CREA ha favorito l'istituzione di un Focus group denominato MISFITS (Modellistica FIToSanitaria), coinvolgendo i Servizi Agrometeorologici e Fitosanitari di nove Regioni italiane: Abruzzo, Basilicata, Emilia-Romagna, Liguria, Lombardia, Marche, Piemonte, Sardegna

e Veneto. MISFITS è la prosecuzione di un percorso iniziato decine di anni orsono, nel quale il supporto fitopatologico in ambito nazionale è stato promosso da diverse associazioni ed iniziative progettuali, tra cui AIAM, Rete Rurale Nazionale, Agrometeore, ed ora AgriDigit, progetto finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

Un'indagine condotta riguardo lo stato di avanzamento della modellistica previsionale in uso ai Servizi sopraelencati ha permesso di definire le priorità di supporto fitopatologico e rilevato la necessità di uniformare il monitoraggio tramite l'adozione di protocolli di campionamento delle principali malattie delle piante comuni a livello nazionale. È stata evidenziata un'elevata eterogeneità negli strumenti sinora adottati e nel grado di avanzamento della tecnologia in uso nei sistemi di supporto decisionale, in un panorama governato da aziende private che erogano servizi previsionali basati su modelli di simulazione fitopatologici sviluppati come *black box*, la cui trasparenza algoritmica e la possibilità di interazione con i Servizi Regionali volta al loro miglioramento è nulla.

Il gruppo MISFITS desidera realizzare un servizio operativo fondato su prodotti digitali di ultima generazione, da rendere disponibili gratuitamente agli enti regionali, consentendo loro non solo di interfacciarli con le proprie reti agrometeorologiche, ma anche di interagire con gli sviluppatori dei modelli previsionali e degli strumenti di monitoraggio per evidenziare esigenze specifiche e necessità di miglioramento.

Materiali e Metodi

Il gruppo MISFITS ha coinvolto competenze e professionalità eterogenee, la cui esperienza, creatività ed operatività necessitano integrazione e coordinamento. Le discipline di riferimento sono la patologia/parassitologia vegetale, la modellistica di simulazione, l'informatica, l'agrometeorologia, la climatologia e l'agronomia. I tre pilastri di MISFITS sono la metodologia di monitoraggio, la modellistica previsionale e l'infrastruttura *cloud* per integrare i diversi strati informativi ed eseguire le stime previsionali.

La smart app MIRA: uniformare il monitoraggio fitopatologico

L'individuazione precoce dei sintomi di un'avversità, in combinazione con la sua diagnostica veloce, accurata ed economica sono aspetti chiave per ottimizzare la tempistica dei trattamenti fitosanitari e prevenire il diffondersi di epidemie vegetali (Buja et al., 2021). I Servizi Fitosanitari Regionali svolgono annualmente attività di monitoraggio sul territorio di competenza, con elementi di eterogeneità per quanto concerne (i) la rete dei siti di campionamento e quindi la copertura del territorio, (ii) il numero e la tipologia di colture e fitopatie monitorate, (iii) la metodologia del rilievo, intesa come protocolli, scale di gravità dei sintomi e frequenza di rilievi, e (iv) la gestione dei dati rilevati a terra, per l'utilizzo nei bollettini fitosanitari o per calibrare/validare modelli di simulazione.

Al fine di armonizzare il monitoraggio fitopatologico su scala nazionale, rendendo così confrontabile il rilievo delle malattie delle principali colture nelle diverse regioni, e costituire una base dati uniforme su scala nazionale per calibrare i modelli previsionali, MISFITS ha creato una *smart app*, MIRA, attualmente in uso ed il cui sviluppo è concertato con i Servizi. Il protocollo di monitoraggio è stato sviluppato e realizzato da esperti di fitopatologia in cooperazione con i Servizi, e si applica al momento a colture arboree (vite) ed erbacee (pomodoro). All'interno di ciascun sito di monitoraggio, che viene georeferenziato e caratterizzato per dimensione, varietà e gestione fitosanitaria (trattamenti), vengono individuati 10 punti di campionamento rappresentativi dell'intero appezzamento. Alle piante campionate viene assegnata una stima complessiva della gravità della malattia basata su tre classi calibrate per rilevare la progressione dell'infezione e ottimizzare il monitoraggio fitosanitario in funzione della prevenzione. Infatti, la classe di gravità "bassa" mira a rilevare qualsiasi traccia di infezione, mentre la classe di gravità "alta" non supera indicativamente il 15%-20% di superficie fogliare complessiva colpita per pianta, un livello di infezione che tuttavia indica una precisa necessità di intervento fitoiatrico per scongiurare perdite produttive (Tabella 1, esempio per peronospora e oidio della vite).

Il risultato del monitoraggio viene quindi tradotto in un indice sintetico di gravità della malattia I (%), calcolato

secondo la formula di McKinney (1923) modificata da Cooke (2006):

$$I = \frac{\sum_1^n \text{Gravità} \times n_{\text{colpite}}}{\text{Gravità}_{\text{max}} \times n} \times 100$$

Tab. 1. Scala di gravità della malattia adottata nel protocollo di rilievo in MIRA per peronospora e oidio della vite, sintomi fogliari.

Tab. 1. Disease severity scale adopted in the survey protocol in MIRA for vine downy mildew and powdery mildew, foliar symptoms.

Gravità (valore)	Descrizione
Nessuna (0)	Non si osservano sintomi.
Bassa (1)	1-2 foglie con sintomi limitati ad una macchia.
Media (2)	Almeno 4 foglie con una o due macchie o una superficie colpita non superiore al 30% della lamina.
Alta (3)	Sono complessivamente presenti 5 o più foglie colpite con sintomi estesi anche su tutta la lamina.

dove n_{colpite} e n sono il numero di piante colpite e il numero totale di piante monitorate, rispettivamente, Gravità è la classe di gravità (Tabella 1) e $\text{Gravità}_{\text{max}}$ è la classe di gravità massima (3, gravità alta). L'indice I , calcolato per ogni singola malattia sotto osservazione, si aggiorna ad ogni monitoraggio, e MIRA fornisce un'indicazione rispetto alla sua evoluzione (stazionario/aumento/decremento). Al termine del rilievo di malattia, MIRA permette di registrare le eventuali catture di insetti dannosi mediante trappole.

Il *database* di MIRA è relazionale ed è stato realizzato con Azure SQL *database* (Microsoft Corp.). Tale *database*, realizzato in *cloud*, è progettato in modo che possa essere esteso ad un elevato numero di utenti, campi di monitoraggio e patosistemi sotto osservazione. Le *query* nell'applicazione MIRA sono gestite con connettori *API* e permettono un dialogo agile con l'infrastruttura informatica CREA. Lo stesso *database* è quindi collegato con un *dashboard*, realizzato con PowerBI (Microsoft Corp.), che viene aggiornato quotidianamente e permette ai Servizi Regionali di accedere in tempo reale ai monitoraggi effettuati sul territorio.

I modelli previsionali: creazione di un ensemble per valorizzare gli approcci disponibili

I modelli previsionali delle malattie delle piante vengono sviluppati all'interno di MISFITS con un approccio partecipativo. La selezione delle fitopatologie per cui realizzare supporto previsionale è effettuata secondo le priorità indicate dai Servizi, motivo per cui i primi modelli implementati hanno riguardato le patologie della vite. La libreria MISFITS, in costante espansione, vede come primi

modelli inseriti gli approcci proposti da METOS, marchio della ditta austriaca Pessl Instruments (<http://metos.at/it/disease-models-grapevine/>) per peronospora e oidio (infezioni primarie e secondarie), e botrite. Questa scelta, motivata dalla volontà di offrire un servizio pubblico in linea con lo stato dell'arte dei servizi erogati da privati, non limita la possibilità di introdurre nuovi algoritmi, reperiti tramite ricerca bibliografica o ancor meglio a seguito dell'interazione con i Servizi Fitosanitari. E' stato questo il caso del modello per peronospora, proposto da LAORE-Sardegna (Melo Reis et al., 2013) e già inserito nella *suite*, o del modello A-SCAB (Rossi et al., 2007) per ticchiolatura del melo, attualmente in fase di re-implementazione. L'obiettivo del gruppo è quello di costituire un *model ensemble*, all'interno del quale i diversi approcci disponibili per una determinata fitopatologia vengano eseguiti in parallelo, e la stima previsionale risulti caratterizzata da una probabilità e un'incertezza, derivante dall'insieme dei diversi modelli.

Rispetto alle implementazioni *hardcoded* proposte dalla maggior parte degli autori, nei modelli MISFITS la valorizzazione dei parametri delle funzioni che riproducono la risposta ambientale dei processi biologici dei patogeni è lasciata libera. Questo consente di massimizzare l'accuratezza delle stime previsionali rispetto alla realtà osservata, calibrando i valori dei parametri all'interno di intervalli biofisici. Questa attività viene svolta tramite l'utilizzo di tecniche di *machine learning* che prevedono l'esecuzione ricorsiva dei modelli e la valutazione della loro accuratezza mediante metriche di errore, che vengono via via minimizzate fino al raggiungimento del migliore risultato possibile. La fattibilità e la portata innovativa di questa attività è provata da diverse pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali ISI effettuate negli ultimi anni dal personale CREA coinvolto in questo lavoro (e.g., Bregaglio et al., 2017, Bregaglio et al., 2018, Bregaglio et al., 2020). Un esempio di implementazione di un modello per peronospora è mostrato in Figura 1.

L'architettura informatica: tecnologia all'avanguardia per ottimizzare l'interazione dati-modelli ed erogare servizi previsionali

All'interno del progetto AgriDigit, CREA ha sviluppato un'infrastruttura informatica *cloud* che implementa modellistica di simulazione allo stato dell'arte, rendendola disponibile gratuitamente agli enti regionali. L'infrastruttura utilizzata per eseguire le simulazioni e fornire le serie agrometeorologiche in ingresso ai modelli è basata sui principi della piattaforma Biophysical Models Application (BioMA, <https://en.wikipedia.org/wiki/BioMA>), che presenta un'esplicita modularità dei vari componenti. Il risultato è che lo stesso modello può essere eseguito con serie meteo da fonti eterogenee senza modificare in alcun modo la componente algoritmica del modello. Gli strumenti BioMA sono rilasciati come *Software as a Service* (SaaS), utilizzando tecnologia Microsoft. In particolare, i modelli vengono eseguiti tramite *Azure Function*, che forniscono

funzionalità *stateless* e rispondono ad una chiamata RESTful.

La risposta alla singola chiamata ad *Azure Function* viene elaborata nel *cloud Azure* ed entrambe, sia chiamata che risposta, assumono la forma di un indirizzo *http*, immediatamente disponibile sul web, previo un processo di registrazione e l'ottenimento di un *token* personale di chiamata. Le elaborazioni vengono accodate in caso di elaborazioni massive, con meccanismi *built-in* di scodamento parallelo delle singole elaborazioni che permettono un elevato grado di parallelismo delle elaborazioni, mettendo a disposizione una *server farm* virtuale.

Peronospora, infezione primaria

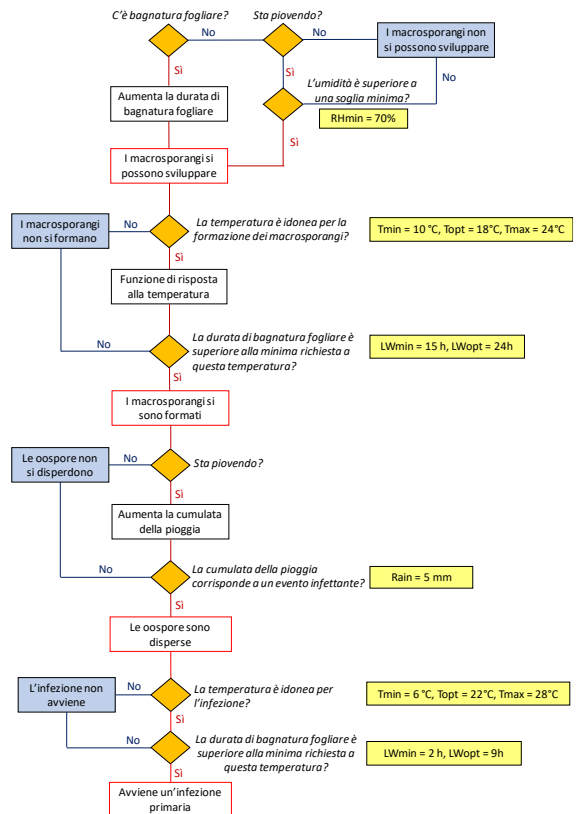


Fig. 1. Diagramma di flusso dell'algoritmo per la simulazione delle infezioni primarie da peronospora. Nei rettangoli gialli sono riportati i parametri biologici che possono essere sottoposti a calibrazione.

Fig. 1. Flow chart of the algorithm for simulating primary infections from downy mildew. The biological parameters that can be calibrated are shown in the yellow rectangles.

Risultati e Discussione

Simulazioni hindcast preliminari alla calibrazione dei modelli fitopatologici

Nell'agosto del 2020 è stato svolto un primo caso studio nel quale i modelli fitopatologici MISFITS sono stati eseguiti sul territorio delle nove Regioni italiane facenti parte del gruppo. La base dati meteorologica utilizzata è stata derivata dalla banca dati SIAN del MiPAAF, i cui dati giornalieri sono disponibili ad una griglia regolare di 0.14°/0.10° Lon/Lat (circa 10×10 km) nel periodo 2012-2017. I modelli fitopatologici, dal passo temporale orario, hanno richiesto l'inserimento di un layer di modellazione per generare dati orari di temperatura, umidità relativa, precipitazione e bagnatura fogliare a partire dai dati giornalieri. Una volta terminata l'esecuzione dei modelli, i risultati sono stati aggregati a scala provinciale-regionale ed elaborati sotto forma di mappe (e.g., Figura 2) e rappresentazioni grafiche dinamiche (e.g., Figura 3).

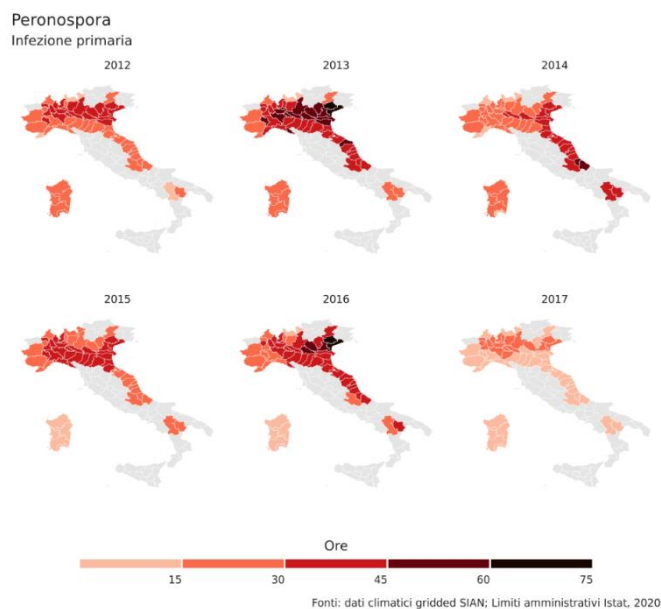


Fig. 2. Risultati delle simulazioni condotte con il modello di infezione primaria da peronospora, espresse come numero di ore di infezione nel periodo 1° marzo – 21 giugno. I dati sono aggregati a livello provinciale.

Fig. 2. Results of simulations conducted with the primary downy mildew infection model, expressed as the number of infection hours in the period 1 March - 21 June. The data are aggregated at the provincial level.

L'areale viticolo corrispondente alla Pianura Padana è risultato quello maggiormente interessato da eventi di infezione primaria da peronospora, particolarmente nel 2013. In generale, la maggiore pressione del patogeno si evidenzia nelle province del Veneto e dell'Emilia-Romagna, con l'eccezione del 2014 che presenta i valori massimi nel territorio abruzzese. Le simulazioni hanno evidenziato un gradiente crescente Ovest-Est per quanto

riguarda le infezioni primarie da peronospora; la Sardegna e la Basilicata sono risultate le regioni italiane meno interessate dalla patologia. Gli anni meno favorevoli allo sviluppo delle infezioni primarie da peronospora sono stati il 2012 e soprattutto il 2017. I risultati delle simulazioni indicano l'annata 2013 come quella maggiormente interessata da eventi di infezione primaria da peronospora (36.8 h) e oidio (9 h), mentre il 2017 è risultata la stagione con meno rischio associato alle due patologie (infezioni da peronospora = 12.6 h e da oidio = 2.1 h). Nel 2013 infatti le simulazioni hanno evidenziato diverse ore di infezione da peronospora già nella prima metà di marzo, mentre negli altri anni hanno mostrato un tasso di crescita delle ore di infezione che inizia a crescere significativamente nel mese di aprile.

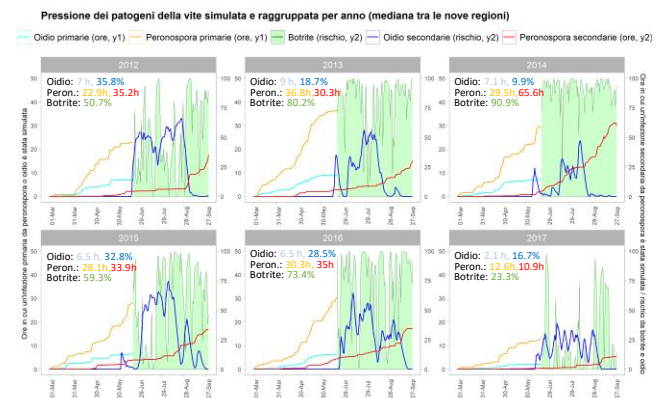


Fig. 3. Dinamica giornaliera della pressione dei patogeni della vite simulata nelle stagioni colturali 2012-2017 e mediata tra regioni durante la stagione colturale della vite (marzo-settembre).

Fig. 3. Daily dynamics of vine pathogen pressure simulated in the 2012-2017 growing seasons and mediated between regions during the vine growing season (March-September).

La stagione 2014 è invece risultata maggiormente caratterizzata da eventi simulati di infezione secondaria da peronospora (65.6 h), oltre che dal più elevato rischio da botrite (90.9%). In questo caso le ore di infezione presentano una crescita costante a partire dalla prima settimana di giugno fino a settembre, indicando condizioni ambientali idonee per il patogeno durante la maggior parte della stagione colturale. Quella del 2017 è risultata la stagione meno favorevole allo sviluppo di infezioni secondarie (10.9 h), che sono state simulate soltanto nell'ultima parte della stagione.

Per quanto riguarda il rischio di infezioni secondarie da oidio, le stagioni 2012 (rischio medio = 35.8%) e 2015 (rischio medio = 32.8%) emergono come le più critiche, con picchi intorno al 75%. Le simulazioni inoltre suggeriscono che le situazioni di rischio minore per questa patologia si sono verificate nel 2014 (rischio medio = 9.9%) e nel 2017 (rischio medio = 16.7%). In questo caso la dinamica giornaliera del rischio è piuttosto eterogenea negli anni, e

non è correlata alle infezioni simulate di peronospora e botrite. Per quest'ultima patologia, la stagione del 2017 ha mostrato un rischio simulato significativamente inferiore rispetto a quello delle altre stagioni (23.3%). Questi risultati necessitano di essere verificati con osservazioni sul territorio, e sono al momento al vaglio dei ricercatori CREA, che stanno utilizzando i bollettini previsionali erogati nel periodo 2012-2017 come fonte di informazione per valutare la coerenza delle simulazioni alla situazione fitopatologica delineata dai Servizi Regionali.

Simulazioni *forecast* per erogazione di servizi in tempo reale

Il monitoraggio con MIRA è attualmente attivo su 51 campi, localizzati nel territorio delle nove Regioni coinvolte (Figura 4). Nei primi mesi del 2021 sono stati formalizzati gli accordi tra CREA e ogni singolo Servizio Regionale per regolare gli scambi di dati agrometeorologici, propedeutici all'esecuzione dei modelli previsionali sulle reti regionali, che avverrà durante la stagione in corso.

L'elevata eterogeneità delle tecnologie e delle modalità di accesso ai dati nel territorio nazionale viene gestita dal CREA attraverso la creazione di una banca dati agrometeorologica interregionale e di un servizio unico di accesso ai dati di monitoraggio e previsionali. Questa modalità di erogazione, che non è intrusiva rispetto alle politiche regionali di distribuzione dei dati, consente di fruire dei servizi MISFITS tramite *script* di automazione costruiti *ad hoc*, applicazioni *web* attraverso *dashboard* o *DSS*, applicazioni *mobile*, *desktop* o multipiattaforma e *chatbot*. Ogni portatore di interesse può identificare la modalità di fruizione migliore per i suoi interlocutori, potendo anche procedere a sviluppi verticali e gestione separata degli utenti.



Fig. 4. Situazione aggiornata al 3 Maggio 2021 relativa ai campi attualmente monitorati con la smart app MIRA.

Fig. 4. Updated situation as of May 3, 2021 relating to the fields currently monitored with the MIRA smart app.

Conclusioni

La collaborazione tra CREA e Regioni realizzata con MISFITS è il primo passo per realizzare servizi digitali rivolti non soltanto a problematiche fitopatologiche, bensì ad altri aspetti dell'agro-ecosistema quali la produttività delle colture agrarie, la gestione della risorsa irrigua, la valutazione delle emissioni di gas serra, il monitoraggio di situazioni anomale e a rischio per quanto riguarda gli eventi climatici estremi. La trasparenza della collaborazione è un punto chiave, che differenzia MISFITS da sistemi spesso poco documentati e gestiti con protocolli proprietari. I beneficiari di questa collaborazione sono molteplici: i) i Servizi Regionali, che possono avere ulteriori mezzi per estendere le loro capacità operative, ii) il CREA, che organizza una base dati e servizi per la ricerca e l'assistenza tecnica in agricoltura, iii) il MiPAAF, che può disporre in tempo reale della situazione fitosanitaria sul territorio nazionale. Il passaggio ad una operatività completa richiederà risorse dedicate e una proposta progettuale organica, che ponga le basi per uno sviluppo a medio-lungo termine dei servizi prototipali messi a punto finora.

Bibliografia

- Bregaglio, S., Hossard, L., Cappelli, G., Resmond, R., Bocchi, S., Barbier, J-M., Ruget, F., Delmotte, S., 2017. Identifying trends and associated uncertainties in potential rice production under climate change in Mediterranean areas. *Agricultural and Forest Meteorology* 237:219-232.
- Bregaglio, S., Orlando, F., Ascari, L., Castagna, A., Fabrizi, F., Lisperguer, M. J., Novara, C., Suarez, E., De Gregorio, T., 2018. Preliminary application of a simulation model to reproduce hazelnut development and growth in Italy, Georgia and Chile. *Acta Horticulturae*.
- Bregaglio, S., Giustarini, L., Suarez, E., Mongiano, G., De Gregorio, T., 2020. Analysing the behaviour of a hazelnut simulation model across growing environments via sensitivity analysis and automatic calibration. *Agricultural Systems* 181.
- Buja I., Sabella E., Monteduro A. G., Chiriaco M. S., De Bellis L., Luvisi A., Maruccio G., 2021. Advances in Plant Disease Detection and Monitoring: From Traditional Assays to In-Field Diagnostics. *Sensors* 21: 2129.
- Cooke B. M., 2006. Disease assessment and yield loss. In: *The Epidemiology of Plant Diseases*. Second edition. The Netherlands: Springer.
- Donatelli M., Magarey, R.D., Bregaglio S., Willocquet L., Whish J.P.M., Savary S., 2017. Modelling the impacts of pests and diseases on agricultural systems. *Agricultural Systems* 155: 213-224.
- McKinney H. H., 1923. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. *Journal of Agricultural Research* 26: 195-217.
- Melo Reis E., Sonego O. R., Mendes C. d. S., 2013. Application and validation of a warning system for grapevine downy mildew control using fungicides. *Summa Phytopatologica* 39: 10-15.
- Rossi V., Giosuè S., Bugiani R., 2007. A-scab (Apple-scab), a simulation model for estimating risk of *Venturia inaequalis* primary infections. *EPPO Bulletin* 307,:300-308.
- Savary S., Willocquet L., Pethybridge S. J., Esker P., Mc Roberts N., Nelson A., 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology and Evolution* 3:430-439.

IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULL'AGRICOLTURA PIEMONTESE

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON PIEDMONTESE AGRICULTURE

Nicola Loglisci*, Simona Barbarino, Lorenzo Smorlesi, Renata Pelosini

ARPA Piemonte – Dipartimento Rischi Naturali ed Ambientali, Meteorologia e Clima

* nicola.loglisci@arpa.piemonte.it

Abstract

I cambiamenti climatici in corso stanno determinando delle importanti riflessioni sulle tecniche colturali sulla nostra regione, avendo un impatto sull'agricoltura tipica regionale. Questo lavoro si prefigge di analizzare dal punto di vista puramente climatico gli effetti del riscaldamento globale su alcuni aspetti dell'agricoltura regionale piemontese. In particolare, si analizza la vocazionalità del territorio alla coltivazione di uve per la produzione di vino pregiato tipico della regione Piemonte e la sua potenziale variazione legata agli scenari RCP futuri. Inoltre, viene analizzata la possibile variazione nel regime irriguo associata al cambiamento climatico ed in particolare all'aumento delle temperature e al cambiamento nel regime pluviometrico a scala regionale

Parole chiave

Cambiamenti climatici, agricoltura, adattamento

Keywords

Climate change, agriculture, adaptation

Introduzione

Negli ultimi anni, la ricerca e il dibattito sui cambiamenti climatici hanno assunto una rilevanza non solo scientifica, ma hanno raggiunto anche altri aspetti, da quelli di settore a quelli politici. In particolare, la comunità scientifica è oramai unanime nell'affermare che il cambiamento climatico in corso è quantificabile e, con elevata probabilità, attribuibile all'azione antropica sul pianeta. Nell'ultimo rapporto sul clima disponibile (5th Assessment Report - IPCC, 2013; IPCC, 2014), l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) stima un aumento medio di temperatura quantificabile in 0.85 °C dal 1880 al 2012. A livello regionale, l'incremento di temperatura, dovuto all'azione dell'uomo, può raggiungere valori molto diversi finanche a duplicarlo. L'IPCC definisce, infatti, "Hot Spot" del cambiamento climatico quelle regioni del globo più vulnerabili a tale cambiamento e individua nella regione alpina una di queste "zone calde" (IPCC, 2014). A causa di tali repentini e significativi innalzamenti di temperatura, lo scenario naturale subisce, a sua volta, dei cambiamenti potenzialmente irreversibili. Il settore agricolo costituisce uno di questi scenari naturali che determina non solo il soddisfacimento dei fabbisogni delle popolazioni locali, ma anche una grossa fetta dell'economia regionale. Questo studio si prefigge di quantificare il cambiamento climatico su scala regionale, cercando di capire come il settore

agricolo stia cambiando sia dal punto di vista puramente climatologico, sia dal punto di vista del fabbisogno irriguo. In particolare, verrà analizzato il potenziale cambiamento dello scenario di produzione vitivinicola, settore molto importante dal punto di vista economico ed occupazionale (Fraga et al., 2016) e del fabbisogno irriguo di alcune colture di pregio piemontesi a causa del riscaldamento globale.

Materiali e metodi

Lo studio sul clima passato è stato condotto utilizzando un dataset regionale piemontese su grigliato regolare. Tale base dati è stata creata a partire dalla ricca banca dati meteo regionale di ARPA Piemonte, utilizzando la tecnica statistica dell'Optimal Interpolation (AAVV, 2010; Ciccarelli et al., 2008) mediante la quale è stato ricostruito il clima in Piemonte a partire dal 1958 ad oggi. Mediante tale tecnica statistica si riportano su griglia regolare, attraverso un processo di interpolazione spaziale, i dati meteorologici derivanti da stazioni di rilevamento appartenenti a differenti reti di misurazione, sia con diversa copertura temporale sia con una distribuzione spaziale arbitraria e variabile sul territorio regionale. Alla base di tale interpolazione vi è il principio secondo il quale soltanto le osservazioni più vicine possono influenzare il valore finale del punto griglia.

Seguendo tale approccio, si rinuncia all'informazione dettagliata del singolo punto-stazione, per ottenere un campo di analisi su griglia completo del maggior numero possibile di informazioni del passato, omogeneo ed integrabile con altri dati eventualmente disponibili in futuro, che può essere utilizzato per analisi statistiche sulla variazione temporale dei parametri meteo-climatici.

Sono stati, inoltre, impiegati per la prima volta, i dati ottenuti con un metodo di downscaling dinamico a partire dalle rianalisi ERA5 di ECMWF (Hersbach et al, 2020), mediante l'utilizzo del modello dinamico ad alta risoluzione COSMO-CLM (Rockel et al., 2008) con risoluzione spaziale di 0.02° (circa 2 km).

L'infittimento spaziale del grigliato di analisi permette di estendere ulteriormente le applicazioni delle rianalisi ERA5, già usate ampiamente in vari studi per monitorare il cambiamento climatico in diversi ambiti, compreso quello agricolo (Buontempo et al., 2020).

Inoltre, è stato sperimentato il modello CRITERIA-1D, sviluppato da ARPAE, per lo studio della potenziale variazione del regime irriguo su alcune colture di interesse regionale. Il modello CRITERIA-1D, messo a disposizione da ARPAE nell'ambito del progetto Highlander, (<https://highlanderproject.eu/>) finanziato dai fondi europei Horizon 2020, è un modello monodimensionale che simula il bilancio idrico, lo sviluppo colturale e la richiesta irrigua delle colture (Marletto, 2007; Tomei, 2007). Esso richiede in input serie giornaliere di temperatura e precipitazione (fornite attraverso il dataset regionale sopra descritto), tessitura del suolo (estratta dal database soilgrids <https://soilgrids.org/> Batjes et al., 2017), parametri colturali ed eventuale profondità della falda ipodermica.

Per quanto riguarda i dati sugli scenari futuri RCP (Representative Concentration Pathways) descritti dall'IPCC (van Vuuren et al., 2011; IPCC, 2013, IPCC, 2014), sono stati utilizzate le simulazioni dei modelli a più alta risoluzione attualmente disponibili nel panorama scientifico. Tali dati sono presenti sulla piattaforma EURO-CORDEX (Benestad et al., 2017), un'iniziativa del World Climate Research Programme (WCRP) patrocinata da WMO ed UNESCO. Gli scenari presi in considerazione sono RCP 4.5 ed RCP 8.5, il primo considerato uno scenario emissivo intermedio che prevede un calo nelle emissioni di CO2 da circa metà del XXI secolo, il secondo chiamato comunemente "business as usual" dove le emissioni sono previste aumentare per l'intero secolo.

Gli output dei modelli EURO-CORDEX sono stati trattati in modo tale da riportarli sul dominio del dataset OI scelto per

l'analisi dei dati, correggendo gli eventuali bias presenti sul trentennio di riferimento scelto, il periodo 1975-2005.

Risultati

Clima passato

Dallo studio sul clima passato, eseguito tramite analisi dei dati climatici appena descritti, si nota, sulla regione Piemonte un trend di incremento delle temperature quantificabile, su un periodo di 61 anni, in +1,59 °C per le temperature minime e +2,38 °C per le temperature massime.

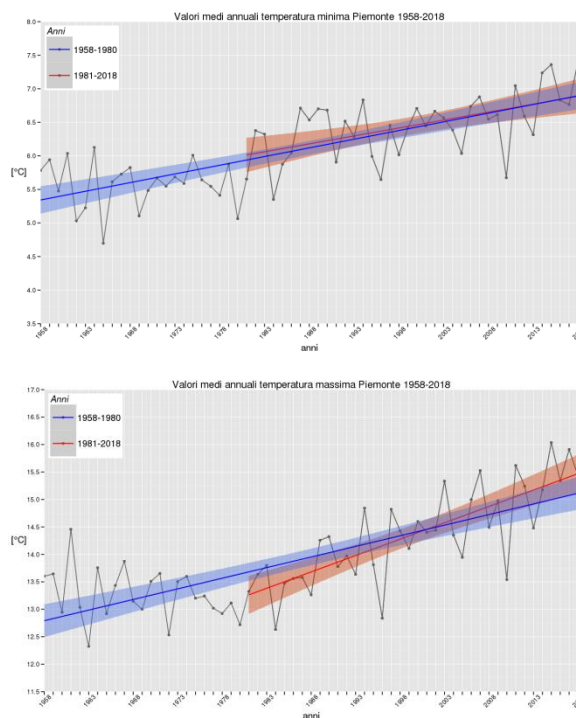


Fig. 1. Andamento delle temperature minime (in alto) e massime (in basso) per il periodo 1958-2018

Fig. 1. Trend of minimum (top) and maximum (bottom) temperatures for the period 1958-2018

Anche i percentili più elevati delle distribuzioni delle due variabili hanno subito dei cambiamenti in alcune stagioni dell'anno, mostrando un aumento dei fenomeni estremi (95° e 99° percentile).

Sulle precipitazioni non è possibile fornire una tendenza statisticamente significativa dal punto di vista del quantitativo cumulato annuo. Tuttavia, si trova una diminuzione significativa nel numero di giorni di pioggia. Combinando i due risultati si deduce come, sebbene la cumulata annua si mantenga pressoché costante negli anni, la precipitazione si concentri in meno eventi, con una conseguente tendenza ad un aumento dei fenomeni estremi.

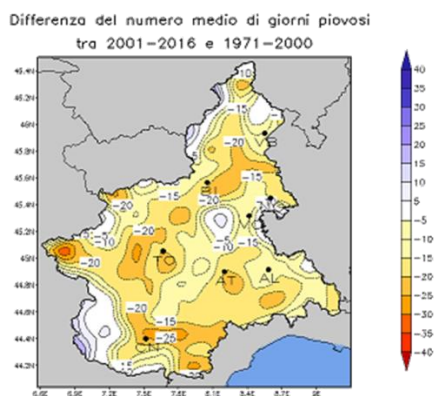


Fig. 2. Differenza del numero di giorni piovosi per il periodo 2001-2016 rispetto al periodo 1971-2000

Fig. 2. Rainy day difference between two periods 2001-2016 and 1971-2000.

Un'analisi su alcuni indici utili dal punto di vista agricolo, mette in luce altri cambiamenti: aumento generalizzato dell'evapotraspirazione potenziale, delle somme termiche, anticipazione della stagione vegetativa, aumento della siccità (calcolata utilizzando l'indice standardizzato SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010), incremento del numero di notti e giorni tropicali, diminuzione del numero di notti di gelo.

In particolare, è stato calcolato un indicatore climatico della vocazionalità del territorio alla coltivazione di uve per la produzione di vino Warm CompI (Fraga et al., 2013) che mostra, dal punto di vista puramente climatico, quali siano le zone del territorio regionale più vocate alla coltivazione della vite al fine della produzione vinicola.

Tale indice è, in realtà, una combinazione di altri quattro indici bioclimatici (Huglin Index HI, Hydrothermic Index Hyl, Dryness Index DI and Collnight Index CNI).

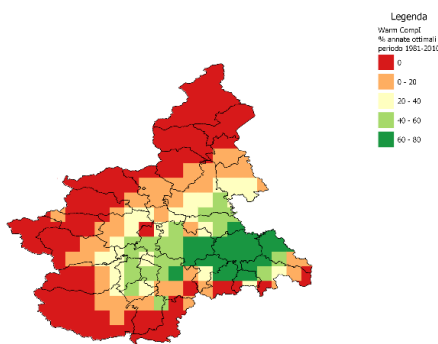


Fig. 3. Indice di vocazionalità Warm CompI per la vite calcolato sul periodo 1981-2010 con i dati OI

Fig. 3. Warm CompI index for grapevines calculated for the climatological period 1981-2010 with OI database.

Per l'indice Warm CompI è stata fatta una sperimentazione dei dati delle rianalisi ERA ad alta risoluzione utilizzando il modello COSMO-CLM, messo a disposizione nell'ambito del progetto Highlander (Horizon 2020) che permette di fornire un dettaglio maggiore sul territorio regionale.

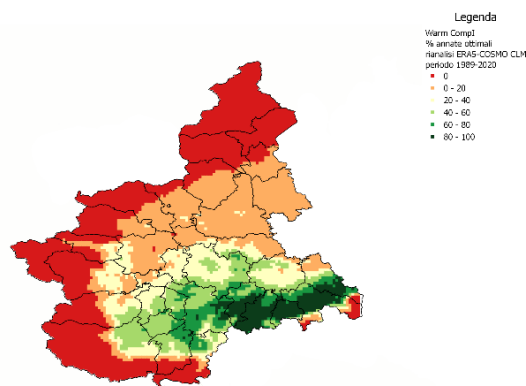


Fig. 4. Indice di vocazionalità Warm CompI per la vite calcolato sul periodo 1981-2010 con i dati COSMO-CLM

Fig. 4. Warm CompI index for grapevines calculated for the climatological period 1981-2010 with COSMO-CLM output.

Per la sperimentazione del modello CRITERIA-1D sono state selezionate tre località sul territorio regionale: Saluzzo, Carmagnola e Alessandria. Ciascuna di essa è rappresentativa per una coltura particolare ovvero il mais per Carmagnola e Alessandria, il melo per Saluzzo. Per ognuna di queste stazioni è stato selezionato il punto griglia corrispondente del dataset OI al fine di valutare se il regime irriguo simulato dal modello abbia subito dei cambiamenti nel recente passato sulla base dei dati meteorologici e, quindi, possa essere messo in relazione ai cambiamenti climatici osservati sul territorio regionale.

Dalla statistica ottenuta dai risultati si evince che il numero di irrigazioni calcolato in due periodi distinti del passato segue la tendenza osservata nelle precipitazioni. Infatti, il modello CRITERIA-1D simula, nel trentennio più recente (1989-2019), un bisogno irriguo con percentili diversi rispetto al trentennio precedente (1958-1988), con un maggior numero di irrigazioni nei periodi più secchi e inferiore nei periodi caratterizzati da precipitazioni abbondanti. La stessa tendenza è visibile nel quantitativo totale di acqua utilizzata per l'irrigazione.

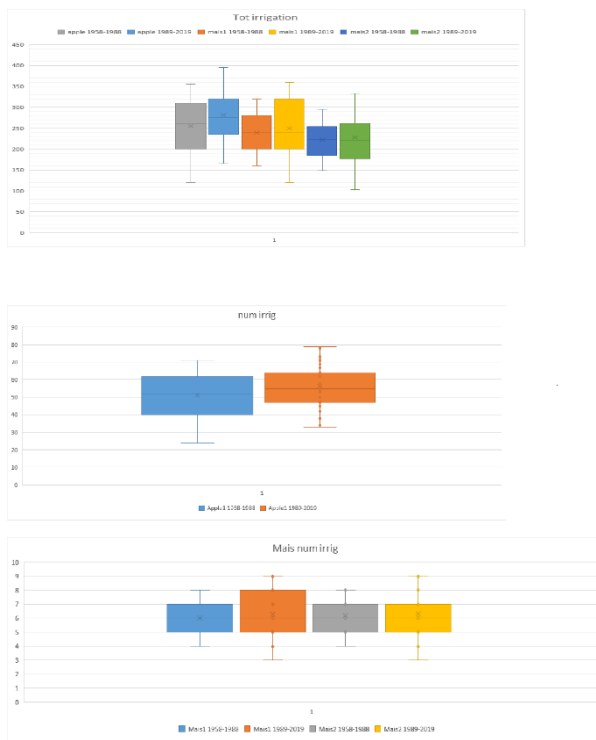


Fig. 5. Statistica sull'acqua totale stimata per l'irrigazione (in alto) e sul numero di interventi di irrigazione per le colture di melo (in centro) e mais (in basso) calcolata su due periodi: 1958-1988 e 1989-2019 con i dati OI
 Fig. 5. Statistics of total water estimated for irrigation (upper panel) and number of irrigations for apple (central panel) and mais (lower panel), calculated on two climatological periods: 1958-1988 e 1989-2019 with OI dataset.

Clima futuro

Per quanto riguarda le proiezioni sugli scenari futuri, dai risultati dell'analisi a livello regionale si nota un aumento medio, rispetto al periodo di controllo, sia sulle temperature minime, sia su quelle massime quantificabile in circa 5°C per lo scenario RCP8.5 e 2,5 °C per RCP 4.5. Anche sul clima futuro non si trovano dei trend chiari e statisticamente significativi, ma si rilevano dei cambiamenti nei percentili più elevati che tendono a confermare un inasprimento dei fenomeni estremi in alcune stagioni dell'anno. Applicando il calcolo dell'indice Warm CompI ai modelli EURO-CORDEX disponibili, si evince, per il futuro, una perdita di vocazionalità alla coltivazione della vite nelle aree attualmente più vocate ed un aumento della vocazionalità in altre aree del territorio regionale, in particolare a quote più elevate.

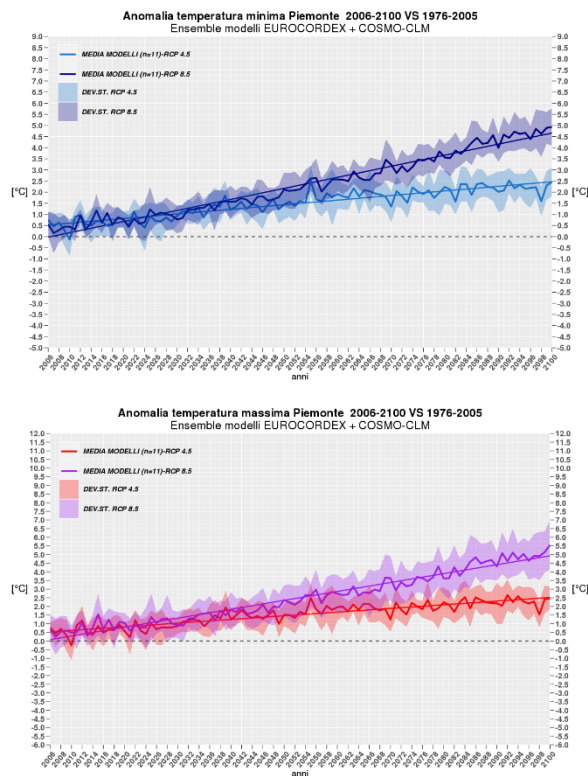


Fig. 6. Andamento delle temperature minime (in alto) e massime (in basso) stimato per il XXI secolo per i due scenari RCP 4.5 e RCP 8.5
 Fig. 6. Trend of minimum (top) and maximum (bottom) temperatures estimated for the 21st century for the two scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5

Sarà utile, in futuro, valutare tale indice sui dati futuri, sulle proiezioni derivate dalle simulazioni ad alta risoluzione che saranno fornite nell'ambito del progetto Highlander. Applicando il modello CRITERIA-1D ai dati sugli scenari futuri per le tre località selezionate sul territorio regionale, si nota un cambiamento nella statistica delle irrigazioni. Analizzando, infatti, i tre trentenni futuri si vede una variazione sia dei percentili nel numero di irrigazioni, denotando, conformandosi, dunque, ad un panorama futuro caratterizzato da più eventi estremi sia dal punto di vista della siccità sia da quello delle precipitazioni estreme. Anche il valore medio del numero di irrigazioni, nonché del volume totale di acqua utilizzato subisce un aumento lieve e graduale nei periodi futuri, in particolare per lo scenario RCP8.5.

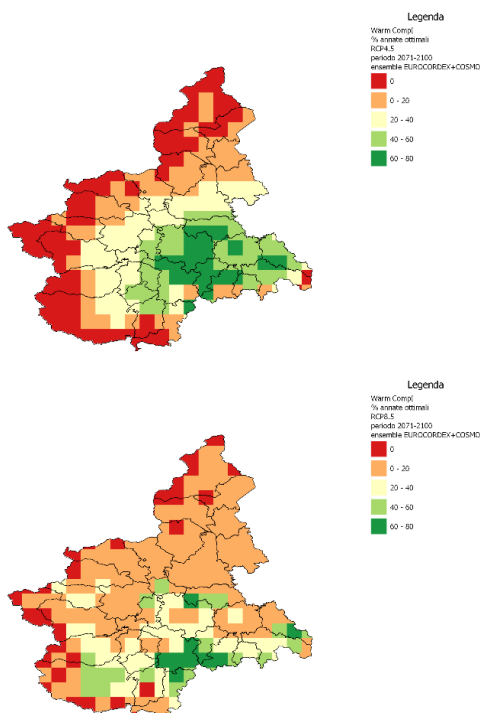


Fig. 7. Indice di vocazionalità Warm Compl per la vite atteso per l'ultimo trentennio del XXI secolo per i due scenari RCP 4.5 (in alto) e RCP 8.5 (in basso)

Fig. 7. Warm Compl index for grapevines calculated for last thirty year period of the XXI century for two scenarios, RCP 4.5 (upper panel) and RCP 8.5 (lower panel).

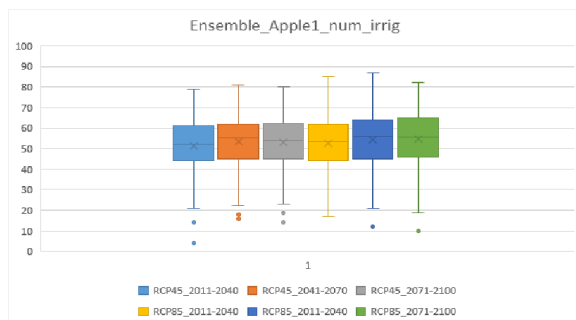


Fig. 8. Statistica sul numero di interventi di irrigazione per la coltura del melo calcolata su tre trentenni del XXI secolo

Fig. 8. Statistics of the number of irrigations for apple calculated on three thirty year periods of the XXI century.

Conclusioni

Dalle analisi condotte a livello regionale sul clima passato, si sono riscontrati degli importanti trend sulle principali variabili meteorologiche che confermano ed inaspriscono i risultati ottenuti a livello mondiale. Il Piemonte risulta essere un “hot spot” del cambiamento climatico con

particolari e possibili ripercussioni sul comparto agricolo messe in evidenza dal calcolo di alcuni indici comunemente usati in ambito agricolo, con le relative tendenze. Il lavoro trova un naturale prosecuzione nello studio sugli scenari futuri ad alta risoluzione. Verrà, dunque svolta un’analisi sugli indici calcolati nel presente studio utilizzando dati climatici ad alta risoluzione che verranno messi a disposizione nell’ambito del progetto Highlander. Le mappe attualmente prodotte saranno facilmente consultabili dagli end-users mediante il loro inserimento all’interno del geoportale climatico di ARPA Piemonte (attualmente in fase di produzione) ed inserite in un opportuno tematismo dedicato all’agricoltura.

Bibliografia

- AAVV, 2010. Cinquant’anni di dati meteo-climatici in Piemonte” – Arpa Piemonte, ISBN 978-88-7479-125-5
- Batjes N.H., Ribeiro E., van Oostrum A., Leenaars J., Hengl T. and Mendes de Jesus J., 2017. WoSIS: providing standardised soil profile data for the world. Earth Syst. Sci. Data 9:1-14.
- Buontempo C., Hutjes, R., Beavis, P., Berckmans, J., Cagnazzo, C., Vamborg, F., Thépaut, J.N., Bergeron, C., Almond, S., Amici, A., Ramasamy, S. and Dee, D., 2020. Fostering the development of climate services through Copernicus climate change service (C3S) for agricultural applications. Weather and Climate Extremes 27: 100226.
- Ciccarelli N., Von Hardenberg J., Provenzale A., Ronchi C., Vargiu A., Pelosini R., 2008. Climate variability in north-western Italy during the second half of the 20th century. Global and Planetary Change, 63: 185-195.
- Fraga H., Malheiro A. C., Moutinho-Pereira J., and Santos J. A., 2013. Future Scenarios for Viticultural Zoning in Europe: Ensemble Projections and Uncertainties. International Journal of Biometeorology 57 (6): 909–25.
- Fraga H., García de Cortázar Aauri I., Malheiro A.C. and Santos J.A., 2016. Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe. Glob Change Biol, 22:3774-3788
- Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., et al., 2020. The ERA5 global reanalysis. Q J R Meteorol Soc 146(730):1999-2049
- 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
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- Jacob D., Petersen J., Eggert B. et al., 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change* 14: 563–578
- Marletto V., Ventura F., Fontana G., & Tomei F., 2007. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model. *Agric. For. Meteorol.* 147:71-79.
- Rasmus B., Haensler A., Hennemuth B., Illy T., Jacob D., Keup-Thiel E., Kotlarski S., et al. 2017. “EURO-CORDEX Guidelines Guidance for EURO-CORDEX Climate Projections Data Use.”
- Rockel B., Will A., Hense A., 2008. The regional climate model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorol Z* 17: 347–348
- Tomei F., Antolini G., Bittelli M., Marletto V., Pasquali A., & Van Soetendael E. M., 2007. Validazione del modello di bilancio idrico CRITERIA. *Ital. J. Agrometeorol*, 1: 66-67.
- van Vuuren D.P., Edmonds J., Kainuma M. et al., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109: 5.
- Vicente-Serrano S.M., Santiago Beguería, Juan I. López-Moreno, 2010. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.
- Villani G., Tomei F., Tomozeiu R., Marletto V., 2011. Climatic scenarios and their impacts on irrigated agriculture in Emilia-Romagna, Italy. *Ital. J. Agrometeorol*, 16(1).

TREND POLLINICI: CORRELAZIONI CON LE VARIABILI CLIMATICHE NELLE MARCHE

POLLINIC TRENDS: CORRELATIONS WITH CLIMATIC VARIABLES IN MARCHE REGION

Danilo Tognetti^{1*}, Silvia Bartolacci², Stefano Leonesi¹, Nadia Trobiani²

¹ ASSAM Regione Marche – Servizio Agrometeo

² ARPA Marche

*tognetti_danilo@assam.marche.it

Abstract

The increased interest in aerobiology, a discipline that studies the presence of pollen and spores in the atmosphere, is mainly due to the increase in pollen allergies, especially in urban areas, and to the prevention of phytopathologies in the agronomic field to improve productivity. Nonetheless, the close link between atmospheric / climatic phenomena and the presence of pollens and spores in the atmosphere has allowed, over the years, not only to acquire more in-depth information in this field, but also to build an increasingly complete set of information with regard to climate change, in particular. Just in this perspective and with the accentuation of extreme events which, in recent decades, have also been manifesting themselves in the Marche through a progressive increase in average temperatures and variations in precipitation regimes, this study intends to investigate the possible correlations between the main environmental variables and the seasonal trend of pollen and spores in order to identify future criticalities in advance with a view to possible adaptation strategies.

Parole chiave

Piante allergeniche, stagione pollinica, cambiamenti climatici, temperatura, Marche.

Keywords

Allergenic plants, pollen season, climate changes, temperature, Marche.

Introduzione

I cambiamenti ambientali, naturali ed in particolare quelli di origine antropica a cui probabilmente va attribuito il *Global Warming* osservato e studiato ormai da diversi decenni, incidono in maniera significativa sulle presenze dei pollini nell'aria determinate dalla modificazione e adattamento della vegetazione sulla terra (evoluzione della biodiversità), con la conseguente diffusione di nuovi pollini aero-dispersi sia dal punto di vista qualitativo (specie) sia quantitativo.

Un passaggio cruciale è quello fra la stagione primaverile e quella estiva, con il mese di maggio che può fornire o meno le condizioni climatiche ideali ed una maggiore rappresentatività grazie alla rilevante quantità dei pollini presenti in atmosfera.

Ben si comprende inoltre il legame tra fenomeni atmosferici e dispersione delle particelle biologiche se si considera che i pollini oggetto di studio sono quelli "anemofili", cioè trasportati dal vento per favorire la riproduzione della propria specie. La fase di rilascio del polline è influenzata principalmente dall'umidità e dalla viscosità dell'aria. La temperatura e l'intensità luminosa agiscono sul rilascio del polline, mentre la velocità e la direzione del vento, nonché i fenomeni di turbolenza e l'azione di lavaggio esercitata dalla pioggia, influiscono nelle fasi di dispersione e diffusione.

Nel presente lavoro si intende dunque approfondire come l'andamento delle principali variabili climatiche del mese di maggio, ma anche dell'intero anno, possano avere

conseguenze sull'andamento dei quantitativi di pollini e delle spore. Si è cercato inoltre di indagare su come le piante allergeniche rispondono alle variazioni delle variabili climatiche, con particolare attenzione alla temperatura visto il suo peculiare legame con il fenomeno del *Cambiamento Climatico*, studiandone i legami con l'inizio e la durata della stagione pollinica.

Materiali e Metodi

I dati sui pollini, in particolare sul quantitativo mensile, sono stati rilevati dalla stazione di monitoraggio aerobiologico di Castel di Lama (AP4) appartenente alla rete di monitoraggio "POLLnet" del Sistema nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) di cui ARPA Marche fa parte. La serie storica disponibile copre il periodo 2010-2020. Tali dati sono stati messi in relazione con quelli climatici ottenuti a partire dalle misure rilevate dalla stazione agrometeorologica della rete ASSAM Marche scelta perché posizionata in prossimità della stazione aerobiologica AP4 (Fig. 1). Le variabili considerate sono quattro: temperatura media (°C), precipitazione totale (mm), umidità relativa media (%) e velocità media del vento (m/s) calcolate su scala mensile per il periodo 2010-2020.

La presenza di eventuali correlazioni tra le varie famiglie di pollini e le variabili climatiche è stata valutata utilizzando il test di Pearson, a un livello di significatività del 95% ($\alpha=0,05$); il test è stato applicato considerando la

somma mensile ed annuale di tutti i pollini per ciascun anno disponibile (2010-2020) da una parte, i valori medi mensili e annuali delle quattro variabili climatiche considerate dall'altra. Particolare attenzione è stata dedicata al mese di maggio.

La presenza di associazione tra le varie specie di spore e le variabili climatiche è stata valutata attraverso l'analisi della correlazione non parametrica, utilizzando il test di Spearman, ad un livello di significatività del 95%. Le analisi sono state effettuate considerando la somma delle spore osservata in ciascun mese di ciascun anno disponibile nel periodo 2010-2020 ed i valori delle variabili climatiche (precipitazione totale, temperatura media, umidità relativa media, e velocità media del vento) registrate nello stesso mese e anno.

Infine, per valutare eventuali correlazioni tra l'inizio e la durata della stagione pollinica da una parte, le variabili climatiche dall'altra, è stato utilizzato il test non parametrico di Mann-Kendall. La linearità o meno è stata valutata tramite grafici di dispersione.

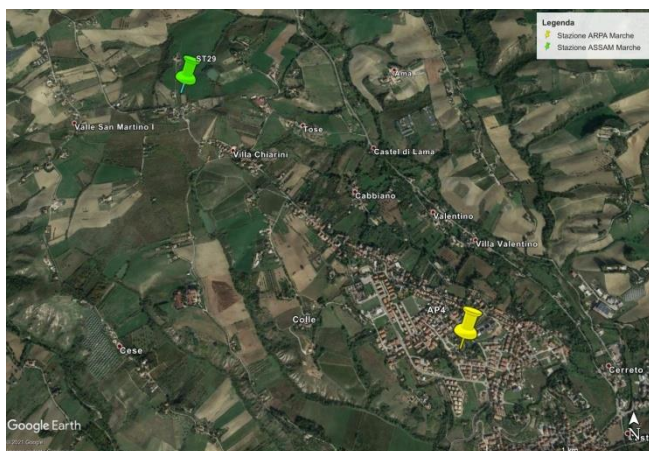


Fig. 1. Posizione geografica della stazione aerobiologica AP4 dell'ARPA Marche e della stazione agrometeorologica ST29 dell'ASSAM Marche dislocate nel comune di Castel di Lama.

Fig. 1. Geolocalization of ARPA Marche aerobiological station AP4 and of ASSAM Marche agrometeorological station ST29 in the territory of the town of Castel di Lama.

Risultati e Discussione

In un primo momento le analisi statistiche sono state effettuate valutando i dati del solo mese di maggio prendendo spunto dal fatto che nel 2019, il termometro ha registrato temperature molto al di sotto della media toccando a volte picchi vicino allo zero (Fig. 2). Dai risultati delle correlazioni effettuate sulle famiglie botaniche che fioriscono in questo particolare periodo, si evidenziano quali siano state le specie più sensibili alle variazioni climatiche nel periodo 2010-2020, in maniera statisticamente significativa saggiando ogni taxon pollinico presente in questo mese con le serie storiche dei dati climatici relativi allo stesso mese. Considerando le sole

correlazioni statisticamente significative ($p < 0.05$) e più robuste (sopra al 60%) si deducono quali parametri climatici influenzano maggiormente la stagione pollinica per ogni singola specie, nel periodo preso a campione ed è stato constatato che i pollini di *Olea europea* sono quelli che danno correlazione più forte (63%, $p\text{-value} = 0.037$) rispetto a tutte le altre specie presenti.

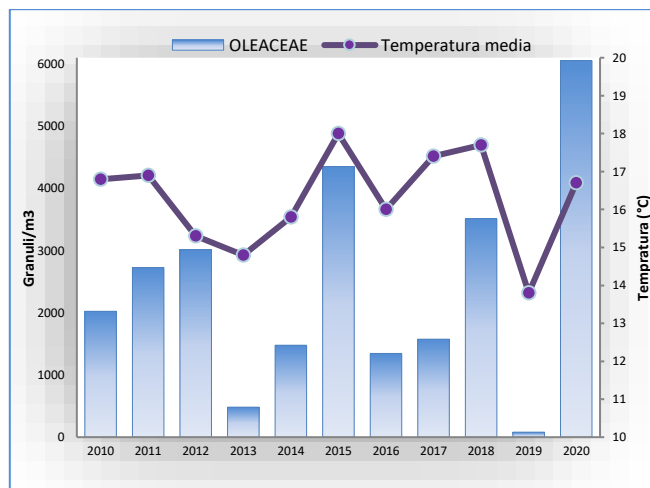


Fig. 2. Andamento delle Oleaceae e della temperatura media dei mesi di maggio (periodo 2010-2020).

Fig. 2. Oleaceae and average temperature trends in the months of May (2010-2020 period).

L'analisi di correlazione effettuata fra la serie delle somme mensili dell'intero anno delle spore funginee e le serie dei dati climatici ha evidenziato che la temperatura media risulta significativamente correlata con la maggior parte delle specie considerate nell'analisi. Nel dettaglio una forte correlazione statisticamente significativa ($p\text{-value} < 0.05$) con la temperatura media mensile si osserva per le seguenti specie: *alternaria*, *epicoccum*, *heminthosporium*, *pithomyces*, *stemphylium*, *torula* (Tab. 1 e Fig. 3). Una forte correlazione si conferma anche dai risultati delle elaborazioni effettuate sulla somma di tutte le spore (Tab. 1 e Fig. 4). Infine l'analisi è stata effettuata per valutare se la variazione delle variabili climatiche, nel periodo considerato, abbiano avuto impatti significativi sull'inizio, la durata ed il picco di emissione della stagione pollinica.

Per la famiglia delle *oleaceae*, si sono considerate le serie del giorno di inizio fioritura e della durata (in giorni) della stagione pollinica e la serie dei picchi massimi nell'intero periodo di studio (Tab. 2); attraverso il test di Mann-Kendall, è stata valutata l'esistenza di correlazioni tra tali serie e le temperature e le precipitazioni di particolari periodi dell'anno.

Per quanto riguarda la serie dei giorni di inizio fioritura, risultati interessanti sono scaturiti con le serie climatiche del mese di marzo, mese che anticipa l'inizio della stagione. Infatti, con un livello di significatività del 99%, si osserva una buona correlazione positiva (75%) con la temperatura

media di marzo (Fig. 5). Anche il legame con la precipitazione totale (del mese di marzo) risulta statisticamente significativa ($p\text{-value}=0,026$); in questo caso però si osserva una correlazione di segno negativo (Fig. 6).

Tab.1. Analisi di correlazione tra la somma delle spore mensile e le variabili meteorologiche - Indice di correlazione di Spearman, variabili statisticamente significative ($p\text{-value}<0,05$).

Tab.1. Correlation analysis between the sum of the monthly spores and the meteorological variables - Spearman correlation index, statistically significant variables ($p\text{-value}<0,05$).

Specie (granuli/m3)	Variabile climatica	Corr. (%)
Alternaria	Temperatura media (°C)	89,6
Epicoccum	Temperatura media (°C)	77,1
Heminthosporium	Temperatura media (°C)	73,9
Pithomyces	Temperatura media (°C)	69,3
Stemphylium	Temperatura media (°C)	80,7
Torula	Temperatura media (°C)	75,2
Totale spore	Temperatura media (°C)	87,8

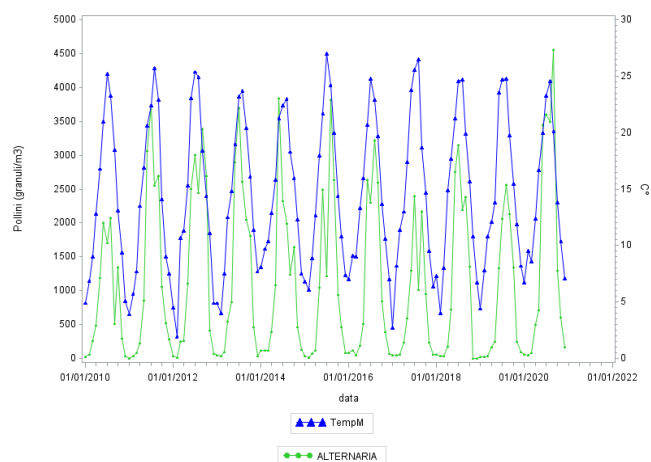


Fig. 3. Andamento mensile del numero di spore per la specie Alternaria e della temperatura media (periodo 2010-2020).

Fig. 3. Monthly trend of number of spores for Alternaria species and of average temperature (period 2010-2020).

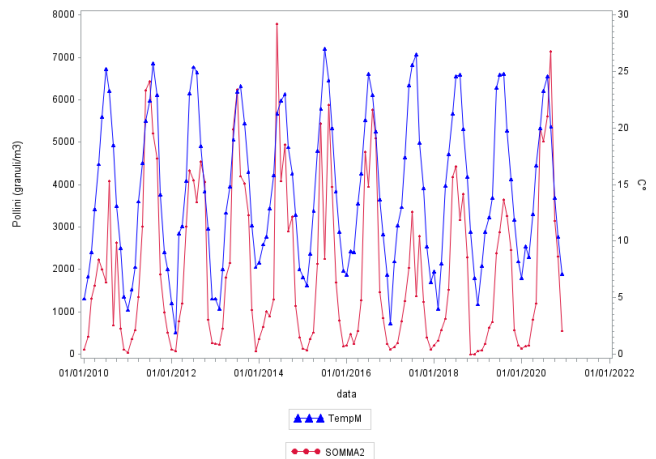


Fig. 4. Andamento mensile del numero totale di spore e della temperatura media (periodo 2010-2020).

Fig. 4. Monthly trend of total number of spores and average temperature (period 2010-2020).

Tab.2. Distribuzione dei giorni di inizio fioritura e delle durate delle stagioni polliniche per la famiglia delle Oleaceae, periodo 2010-2020.

Tab.2. Distribution of early flowering days and pollen season durations for the Oleaceae family, period 2010-2020.

Anno	Inizio (gg/mm)	Fine (gg/mm)	Giorno inizio	Giorno fine	Durata (gg)	Picco Max (granuli/m3)
2010	28/04	12/06	117	163	46	691
2011	08/04	06/06	97	157	60	449
2012	25/05	12/06	145	164	19	948
2013	18/04	19/06	107	170	63	702
2014	07/05	12/06	126	163	37	277
2015	23/04	07/06	112	158	46	034
2016	23/05	17/06	143	169	26	318
2017	22/05	01/07	141	182	41	430
2018	22/04	05/06	111	156	45	806
2019	02/06	17/06	152	168	16	341
2020	24/04	03/06	114	155	41	534

Le durate (in giorni) delle stagioni polliniche mostrano un legame significativo con la temperatura media di marzo e con la temperatura media di giugno (Fig. 7 e Fig. 8); in entrambi i casi la correlazione è negativa ($-0,61$ e $-0,46$ temperatura di marzo e giugno, rispettivamente), con un livello di significatività più elevato in marzo ($p<0,01$). Infine, relativamente al picco massimo stagionale, buona risulta essere la correlazione (negativa) con la temperatura media di febbraio con un livello di significatività del 99% (Fig. 9).

Tab.3. Serie delle temperature medie di febbraio, marzo, giugno e della precipitazione totale di marzo, periodo 2010-2020.

Tab.3. Series of the average temperatures of February, March, June and of the total precipitation of March, period 2010-2020.

Anno	Temp. media feb. (°C)	Temp. media mar. (°C)	Temp. media giu. (°C)	Prec. totale mar. (mm)
2010	6,9	9,0	21,0	87,0
2011	5,7	7,7	20,6	266,6
2012	1,9	10,7	23,1	29,2
2013	4,0	7,5	19,0	64,4
2014	9,7	10,4	21,3	84,4
2015	6,1	8,9	21,7	155,2
2016	9,1	9,0	20,7	97,4
2017	8,2	11,4	23,8	56,8
2018	4,0	8,0	21,3	89,8
2019	7,8	10,8	23,6	22,2
2020	9,5	8,6	20,0	166,0

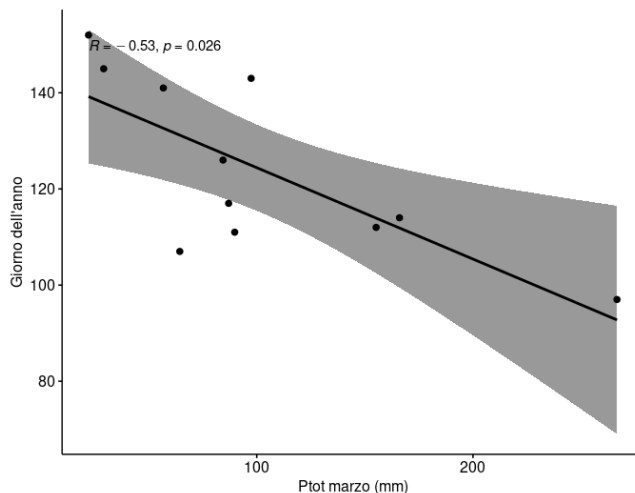


Fig. 6. Regressione lineare fra la precipitazione totale mensile di marzo (mm) e la serie dei giorni di inizio della stagione pollinica. Periodo 2010-2020.

Fig. 6. Linear regression between the total monthly precipitation in March (mm) and the series of days of the beginning of the pollen season. Period 2010-2020.

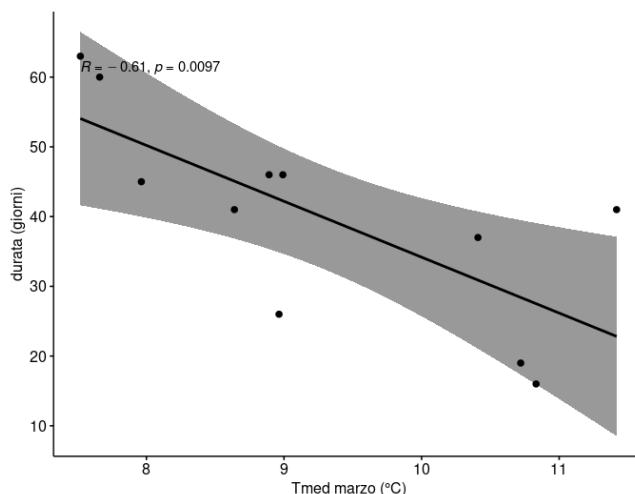


Fig. 7. Regressione lineare fra la temperatura media mensile di marzo (°C) e la serie delle durate in giorni della stagione pollinica. Periodo 2010-2020.

Fig. 7. Linear regression between the average monthly temperature in March (°C) and the series of durations in days of the pollen season. Period 2010-2020.

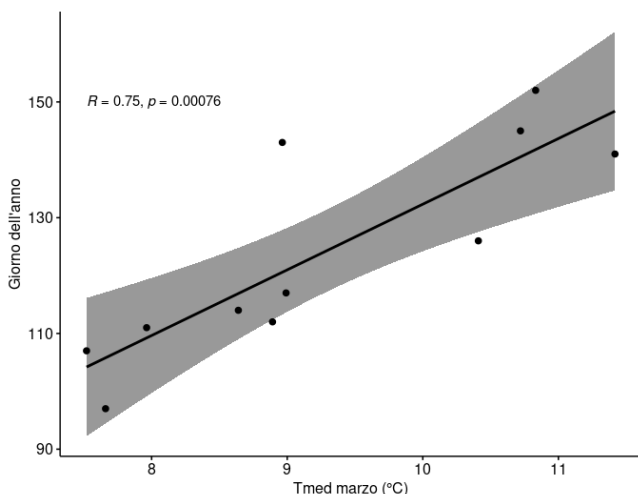


Fig. 5. Regressione lineare fra la temperatura media mensile di marzo (°C) e la serie dei giorni di inizio della stagione pollinica. Periodo 2010-2020.

Fig. 5. Linear regression between the average monthly temperature in March (°C) and the series of days of the beginning of the pollen season. Period 2010-2020.

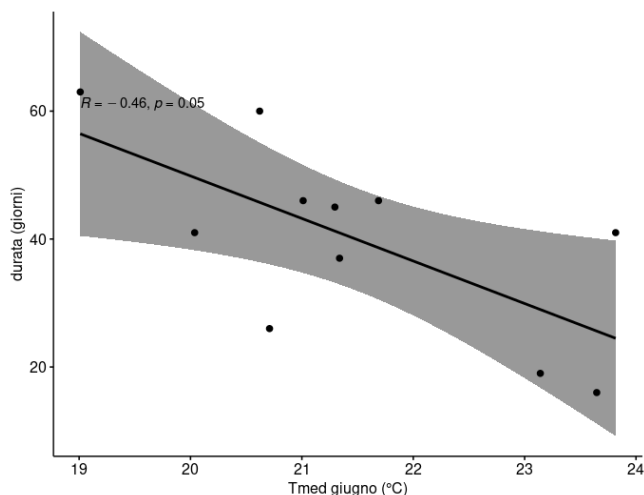


Fig. 8. Regressione lineare fra la temperatura media mensile di giugno (°C) e la serie delle durate in giorni della stagione pollinica. Periodo 2010-2020.

Fig. 8. Linear regression between the average monthly temperature in June (°C) and the series of durations in days of the pollen season. Period 2010-2020.

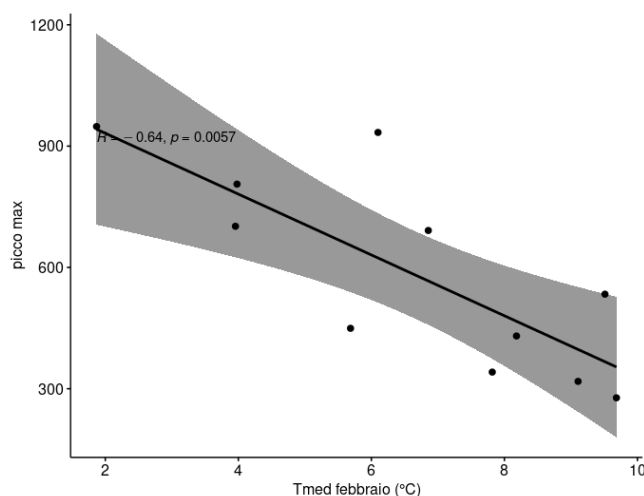


Fig. 9. Regressione lineare fra la temperatura media mensile di febbraio (°C) e la serie dei picchi massimi della stagione pollinica. Periodo 2010-2020.

Fig. 9. Linear regression between the monthly mean temperature of February (°C) and the series of the maximum peaks of the pollen season. Period 2010-2020.

Conclusioni

La correlazione mostra lo stretto legame che esiste tra le specie arboree e la temperatura specialmente nella fase di fioritura, riconducibile alla fenologia di ogni singola specie. Si può affermare che la temperatura e la presenza di acqua agiscono favorevolmente sul rilascio dei granuli pollinici, il vento può influenzarne positivamente o negativamente la diffusione a seconda dell'aerodinamicità del polline, sempre in considerazione che la velocità ottimale di dispersione è

compresa tra i 3 e 15 m/s e che al di sopra di tali valori i pollini sospesi in atmosfera tendono a ricadere sul suolo. Dunque, nell'ambito delle caratteristiche polliniche e climatiche del mese di maggio analizzate, cioè relativa alle famiglie botaniche presenti in questo periodo, emerge che quella più sensibile alle variabili climatiche, rispetto a tutte le altre valutate, sia quella delle *Oleaceae* e sarebbe interessante estendere questo studio anche alle specie botaniche che fioriscono nella stagione estiva ed invernale con la prerogativa di poter produrre previsioni sempre più accurate in campo sanitario ed agronomico. Per quanto riguarda invece le analisi effettuate sulle concentrazioni giornaliere di spore, risulta evidente che esse sono condizionate dall'andamento della temperatura.

Infine, l'inizio, la durata ed il picco massimo della stagione pollinica sono caratteristiche influenzate da andamenti climatici di particolari periodi dell'anno, soprattutto dalle temperature del periodo che precede l'inizio della stagione che coincide grosso modo con il mese di marzo. Gli anni in cui marzo è stato particolarmente caldo sono corrisposti a stagioni polliniche tardive e di minore durata. Modesto sembra invece il contributo delle precipitazioni. La temperatura media di febbraio incide invece sul picco massimo stagionale: più febbraio è caldo e più si riduce il picco massimo registrato, almeno secondo i nostri studi che andrebbero comunque approfonditi in particolare aumentando la durata in anni delle serie di dati a disposizione.

Bibliografia

- Bartolacci S., Trobiani N., 2010. Pollini e cambiamenti climatici: correlazione di variabili climatiche con lo spettro pollinico. Rapporto ambiente – SNPA Edizione 2019, 11: 176-180.
- Freguelli G., 2002. Interactions between climate changes and allergenic plants. *Monaldi Arch Chest Dis*, 57(2): 141-143.
- Freguelli G., Ghitarrini S., Tedeschini E., 2014. Climatic change in Mediterranean area and pollen monitoring. *Flora Mediterranea*, 24:99-107.

LA REANALISI DI COSMO-REA6 MOSTRA ERRORI SISTEMATICI DOVUTI ALLA MANCATA RAPPRESENTAZIONE DELL'IRRIGAZIONE?

DOES THE COSMO-REA6 REANALYSIS SHOW SYSTEMATIC BIASES DUE TO THE MISSING REPRESENTATION OF IRRIGATION?

Christian Rosell^{1*}, Jan Keller², Arianna Valmassoi¹, Petra Friederichs¹

¹Institute for Geosciences, Section Meteorology, University of Bonn

²Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany

*croell@uni-bonn.de

Abstract

This study investigates the impact of artificial irrigation on the regional reanalysis COSMO-REA6 of the German Meteorological Service (DWD) service using the example of Italy in 2011. The low density of measurements of influential atmospheric state variables in combination with the unique orographic structure of Italy complicate a precise analysis of model errors resulting from the deviation of unaccounted moisture from irrigation. It turns out that for 2011, only one monitoring station in an area with heavy artificial irrigation measured the variables used to make adjustments to the model on only 37 days. Moreover, this station is located in northwestern Italy in an area influenced by alpine lee cyclogenesis and the model significantly overestimated the precipitation there in 2011. This station shows a clear overestimation of the humidity as well as a very high variance of the differences between model and observation. Although two closely neighboring stations in areas with significantly less artificial irrigation do not show this behavior, it cannot be conclusively clarified whether the high variance of the deviations in particular is due to artificial irrigation.

Parole chiave

Irrigazione, Rianalisi, COSMO-REA 6, Italia, 2011

Keywords

Irrigation, Reanalysis, COSMO-REA 6, Italy, 2011

Introduction

According to the PCR-GLOBWB model (Wada et al., 2016), 106 billion cubic meters of water were used for artificial irrigation within the EURO-CORDEX-11 domain in 2011. This water represents a significant source of humidity and a potential reduction of ground temperature through evaporation and evapotranspiration. However, irrigation is currently not explicitly represented in the COSMO-REA6 regional reanalysis of the German Meteorological Service (DWD). Within the climXtreme consortium funded by BMBF¹, we investigate the effect of the misrepresentation of irrigation and the extent to which data assimilation is able to account for this. The need for such an analysis and the derivation of subsequent improvement approaches has been shown in many different studies, e.g., Keune et al. (2018) who identify changes in atmospheric moisture transport due to irrigation for the EURO-CORDEX-11 domain.

More far-reaching influences of irrigation were demonstrated in GRAINEX experiment (Rappin et al. 2021). Thus, it was shown that irrigation not only has an influence on moisture, but can also lower the position of the boundary layer and increase the difference between the

sensible and latent heat flux. Likewise, it was shown that irrigation reduces the turbulent kinetic energy.

That deviations of the models in relation to soil moisture occur as a result of artificial irrigation was shown for selected globally distributed regions for the ERA-Interim model (Tuinenburg et al. 2017). More detailed influences of irrigation on atmospheric processes in particular for Italy and the Po Valley were shown by means of WRF simulations (Valmassoi et al. 2020b). It could be shown that the most influenced variable in the Po valley is the daily maximum temperature, which is reduced by the influence of irrigation.

Materials and Methods

Moisture related variables from COSMO-REA6:

COSMO-REA6 was developed by the Hans-Ertel-Centre for Weather Research and is currently the operational reanalysis of DWD. It employs the limited area model COSMO in combination with a continuous nudging scheme of conventional observations complemented by data assimilation modules for snow, SST and soil moisture. The latter uses 2m temperature measurements to correct the soil moisture contents by applying a 1D-Var approach.

Soil moisture and near-surface specific humidity are the main parameters to be influenced by irrigation and are therefore the object of this study. The strongest expected effect of irrigation is during the day when sunlight promotes evaporation of surface water and soil water. Atmospheric

¹ German Federal Ministry of Education and Research

specific humidity corrections are stored in the form of hourly analysis increments in the reanalysis. It is the amount of moisture that is artificially added to or removed from the model per hour and is based on station measurements. For a more direct comparison to the observed data, we also use the 2m specific humidity of the reanalysis at grid points where measurement sites are located. The correction for soil moisture in the model is based on measurements of 2m temperature at 12 and 15 UTC. Since the values of the correction are not explicitly stored as model variables, we calculate these by computing the difference between the soil moisture at 01 and 00 UTC. In order to obtain monthly values, we aggregate these increments over all days of a month and the top four soil layers.

Observation data:

As observation data, we exclusively use surface station data also used in the data assimilation. Since only the relative humidity is measured at stations, but the model output is specific humidity, we only use station data where also surface pressure and temperature are measured. From these data we then calculate the specific humidity at 2m to compare with the reanalysis specific humidity.

Irrigation data:

The irrigation data is taken from the PCR-GLOBWB model (Wada et al., 2016) which provides monthly global data on a regular 5min grid. These data were projected onto the COSMO-REA6 grid to allow for a better comparison. An example of the amount of water used for irrigation in Italy for the year 2011 is shown in Figure 1.

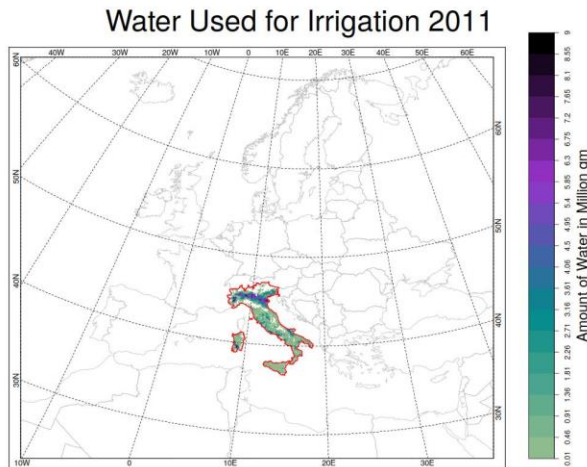


Fig. 1. Posizione dell'Italia nel dominio EURO-CORDEX11, con la quantità totale di acqua utilizzata per l'irrigazione nel 2011.

Fig. 1. The position of Italy in the EURO-CORDEX11 domain, with the total amount of water used for irrigation in 2011.

Analysis of the soil moisture and specific humidity increments:

As a first approach to investigate the characteristics of monthly accumulated soil moisture (SM) and specific humidity (QV) increments, we calculate the Spearman correlation between the amount of water used for irrigation (IR) to SM and QV over all COSMO-REA6 grid points in Italy individually for each month.

Comparison of measured and assimilated specific humidity with model values:

For a more detailed analysis, we compare 2m specific humidity from reanalysis and station observations. For this purpose, we calculate the relative error $\eta_{s,t}$ at station s and time t as difference between the values for reanalysis $r_{s,t}$ and observation $o_{s,t}$ and set this deviation in relation to the measured value:

$$\eta_{s,t} = \frac{r_{s,t} - o_{s,t}}{o_{s,t}}$$

Then, for each station s , we calculate the expectation value for the relative error as well as its standard deviation over the whole year and compare it to the mean amount of water used for irrigation for each grid cell.

Results and Discussion

Spatial analysis of correlations:

The coefficients and corresponding p-values of the correlation between IR and increments of SM and QV are listed in Table 1. In general, the correlation between IR and QV increments is greater than between IR and SM increments.

For the correlations between the IR and SM increments, the results are indistinct. On the one hand, the correlations are small, on the other hand, positive and negative correlations seem to be somewhat randomly distributed over the individual months. In March, June and July, the p-values are the largest and indicate that the correlation is not significant. Together with the generally low correlation coefficients, we cannot find a clear relationship between IR and SM increments here.

For the correlations between QV increments and IR, the results show that correlation coefficients are still small, but consistently positive. Further, for all months except February and April, correlations have small p-values thus indicating that the results are significant. Therefore, a more detailed analysis of the specific humidity is performed in the following.

Tabella 1: Correlazioni degli incrementi di umidità specifica e umidità del suolo con la quantità di acqua utilizzata per l'irrigazione. Le correlazioni significative sono contrassegnate in grassetto.

Table 1: Correlations of the increments of specific humidity and soil moisture with the amount of water used for irrigation. Significant correlations are marked bold.

	Cor(IR,SM)	p-value	Cor(IR,QV)	p-value
Jan	0.12	8.72e-26	0.28	1.68e-143
Feb	0.12	6.62e-28	0.44	1.0
Mar	0.0	9.70e-1	0.29	1.03e-162
Apr	-0.23	1.58e-102	0.40	1.0
May	-0.10	3.40e-19	0.26	6.48e-131
Jun	-0.02	1.35e-1	0.17	9.93e-57
Jul	0.02	3.02e-2	0.27	9.98e-135
Aug	-0.10	1.36e-20	0.28	3.78e-143
Sep	-0.10	5.67e-21	0.35	1.43e-235
Oct	0.09	8.10e-16	0.32	4.34e-199
Nov	0.23	6.12e-101	0.18	1.82e-62
Dec	0.20	4.90e-73	0.31	1.26e-176

Relation of relative errors of specific humidity to irrigation volume:

Of the 18 stations used, three are located in Piemonte and Liguria, while the remaining 15 stations are distributed entirely in the south and in Sardinia. For all but one station Levaldigi (Id 16117/16113), both expectation value of the relative error and its standard deviation are small (Fig. 2). However, 16 of the 17 stations with low relative errors are located at sites with low to zero irrigation ($<0.1 \cdot 10^6 \text{m}^3$ irrigation water). Only station Crotona (Id 16351) in the very

south has a small relative error and an average irrigation water amount of about $0.5 \cdot 10^6 \text{m}^3$. However, the station whose measurements were located at a grid cell with a high average irrigation water amount is very uncertain. The station has only 37 measurements available in 2011, thus single weather events might be overrepresented and therefore have a larger influence on the results. It is also noticeable that on average the model at station Levaldigi was about 3.5% too wet and was corrected downward. In addition, the standard deviation is very high. As can be seen from Fig. 3, this station (red dot) is located in the Piemonte region together with two other stations. This area is

influenced by alpine lee cyclogenesis, especially during the mistral. The COSMO-REA6 model overestimates the precipitation amount for this region in 2011 (cf., Bollmeyer et al. 2015), which could explain the large relative error of station Levaldigi.

However, this cannot be said with certainty, since the two other stations in Piemonte and Liguria do not show a high positive relative error. Therefore, it cannot be conclusively said whether the large relative error or its high standard deviation is the result of the increased irrigation or the consequence of the small sample of measurements in this area of elevated model overestimation of precipitation.

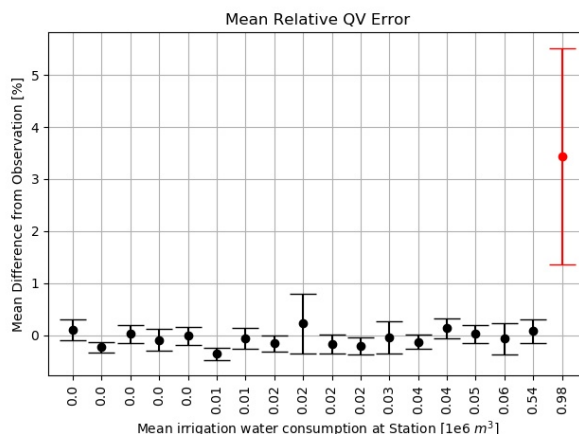


Fig. 2. Per tutte le 18 stazioni in Italia viene mostrato l'errore relativo medio insieme alla sua deviazione standard. Tutte le stazioni sono ordinate in base alla quantità media di acqua utilizzata per l'irrigazione durante le misurazioni. La stazione Levaldigi, con l'errore medio e la deviazione standard più elevati, è contrassegnata in rosso.

Fig. 2. For all 18 stations in Italy the mean relative error is shown together with its standard deviation. All stations are sorted by the mean amount water used for irrigation during measurements. The station Levaldigi with the highest mean error and standard deviation is marked in red.

Irrigation and Location of Stations in 2011

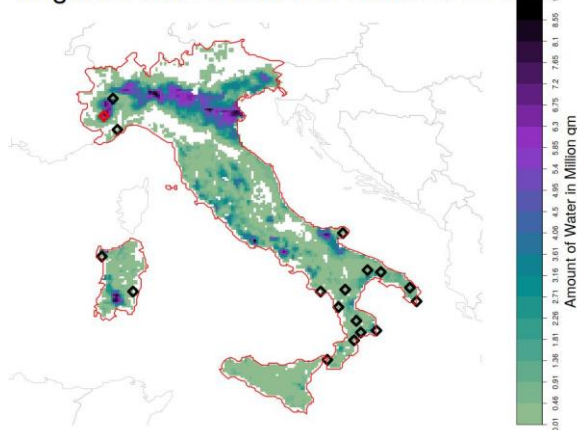


Fig. 3. Posizione di tutte le stazioni in Italia sulla mappa con la quantità totale di irrigazione nel 2011. La stazione Levaldigi è contrassegnata in rosso in quanto è la stazione con il più alto errore relativo e deviazione standard.

Fig. 3. Position of all stations in Italy on the map with the total amount of irrigation in 2011. The station Levaldigi is marked in red as it is the station with the highest relative error and standard deviation.

Conclusions

Italian regions such as the Po valley, are among those in Europe with the most irrigated area. With respect to reanalyses, the misrepresentation of irrigation might be an important factor for inaccuracies in the data especially overirrigation-prone areas. From our findings, we cannot determine the impact of irrigation on the COSMO-REA6 reanalysis over Italy in 2011. The main issue is the lack of observational data in irrigation-prone areas such as the Po valley. Here, our data set only comprises three stations which are located in or near this region and only at one of these, significant amounts of irrigation water use are present.

For station Levaldigi with the highest amount of irrigations water in our data set, we find a significant model bias in the reanalysis. However, multiple effects might overlap each other here: (1) the model is known to overestimate precipitation in this region, (2) orographic effects are stronger in the high mountainous area and (3) intense synoptic scale processes such as lee cyclogenesis are common. Thus, it is difficult to draw conclusions on the effect of irrigation and the corresponding reaction of data assimilation to bring additional moisture into the system with respect to systematic biases, model inaccuracies and local meteorological phenomena.

References

- Bollmeyer C., Keller J. D., Ohlwein C., Wahl S., Crewell S., Friederichs P., Hense A., Keune J. Kneifel, S. Pscheidt I., Redl S. And Teinke S., 2015. Towards a high-resolution regional reanalysis for the European CORDEX domain, *Q. J.R.Meteorol. Soc.*, 141:1-15
- Keune J., Sulis M., Kollet S., Siebert S. And Wada Y., 2018. Human water use impacts on strength of continental sink for atmospheric water, *Geophysical Research Letters*, 45: 4068-4076
- Portmann, F. T., Siebert S., and Döll P., 2010. MIRCA2000 - Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling, *Global Biogeochem. Cycles*, 24, GB1011.
- Rappin E., Mahmood R., Nair U., Roger A. Pielke Sr., Brown W., Oncley S., Wurman J., Kosiba K., Kaulfus A., Phillips C., Lachenmeier E., Santanello Jr. J., Kim E., and Lawston-Parker P., 2021. The Great Plains Irrigation Experiment (GRAINEX), *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- Tuinenburg O.A. and de Vries J.P.R., 2017. Irrigation Patterns Resemble ERA-Interim Reanalysis Soil Moisture Additions, *Geophysical Research Letters*, 44:10341-10348.
- Valmassoi A., Dudhia J., Di Sabatino, S. and Pilla F., 2020. Regional Climate Impacts of Irrigation in Northern Italy Using a High Resolution Model., *Atmosphere*, 11(1): 72.
- Wada Y., de Graaf I.E.M. and van Beek L.P.H., 2016. High-resolution modeling of human and climate impacts on global water resources, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 8: 735-763.

L'AGRICOLTURA BIOLOGICA È RISPETTOSA DELL'AMBIENTE IN NORD EUROPA?

IS ORGANIC FARMING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY IN NORTH EUROPE?

Elena Valkama¹, Alessia Perego², Marco Acutis^{2*}

¹Natural Resources Institute Finland, Bioeconomy and environment (LUKE)

²Department of Agricultural and Environmental Sciences - Production, Landscape, Agroenergy, University of Milan, Italy

*marco.acutis@unimi.it

Abstract

In North-European agriculture there is a risk of nitrogen leaching and the losses of soil organic C. Organic farming is regarded as a valuable option to halt these negative trends. In this study, the soil C dynamic and the N leaching were simulated using a process-based model in a site of South Savo region (Finland), comparing the effect of conventional and organic cropping systems in crop and livestock farms. In the crop farm, a rotation was cereal-based; the livestock farm was characterized by cultivation of cereals and grass. In the crop farm, the loss of soil C ranged from -0.7 and -0.5 Mg ha⁻¹yr⁻¹ under the conventional system, while organic resulted in a higher sequestration rate, i.e. from -120 to +55 kg ha⁻¹yr⁻¹. Leaching was generally low, especially in the organic systems. In the livestock farms, the observed C losses was lower than in the crop farms. The organic system was not beneficial, neither for C sequestration, nor for leaching on the livestock farms. Simulations under future climate indicate a general worsening, with more resilience in the organic systems on crop farms.

Parole chiave

Carbonio nel suolo, sistemi colturali, modello ARMOSA, lisciviazione di nitrati.

Keywords

Soil carbon, Cropping System, ARMOSA model, Nitrate leaching.

Introduction

Reviews and meta-analyses generally support the perception that organic farming systems are more environmentally friendly than conventional farming systems (Schrama et al., 2018). Organic agriculture frequently results in higher soil organic matter and microbiological activity, thus, enhancing water holding capability. This results in decreasing runoff and concentration of nitrate in soil, leading to lower risks of nitrate leaching loss from the soil to water bodies. However, environmental quality parameters can vary in response to pedoclimatic conditions, the production system and the agriculture managements. Experimental trials allow to measure environmental parameters, but they are temporally and spatially limited. Process based models are powerful instruments to extend the experimental knowledge, based on laboratory and field data acquisition at different scales, from farm to region, allowing the evaluation of “a priori” management options and effect of climate change; with this regard, the first attempt have been carried out for organic farming systems (Karimi et al., 2021). In North-European agriculture, the risk of losses of soil organic carbon is relevant due to land use change from natural forest to cropland, because the decomposition of forest-originating carbon has exceeded the accumulation of agriculture-originating carbon in the soil (Akujärvi et al., 2014). The objective of this work is to compare the effect of two production systems (i.e., crop vs livestock

farms) and agriculture managements (i.e., conventional vs organic) on carbon sequestration and N leaching in the actual and in near future climate (2030-2050) in a North European area.

Materials and Methods

Simulations was carried out using climate of the Mikkeli area (Eastern Finland, South Savo region, 61°41'N 027°16'E, 85 m asl, Figure 1). The climate is classified as Dfb by Köppen and Geiger. The average annual temperature is 4.7 °C, precipitation is 707 mm, with the maximum in July (87 mm). Future climate for the period 2020–2040 was derived from Duveiller et al. (2014), who built an European database of daily data for a 25x25 km grid under the Representative Concentration Pathway RCP 6.0. For Mikkeli, this scenario shows an annual average increase of +0.8 °C and a rainfall decrease of 70 mm. The chosen soil is a loamy-sand one (sand 76%, clay 4%) with a high content of organic carbon (3.4%) with a C/N ratio of 18 in the first 30 cm of soil. Later, from 30 cm to 1 meter the texture is similar, but the C content is lower (0.8%).



Fig. 1. L'area di riferimento
Fig. 1. The reference area.

The simulations were performed with ARMOSA model (Perego et al., 2013), which was already successfully utilized in northern Europe (Valkama et al., 2020), and it allows to simulate the soil dynamics of different kinds of organic fertilizers (Pirttioja et al., 2015).

For model inputs we used daily meteorological data from the Mikkeli station, and the statistical data for sales of nitrogen fertilizers in the region during the last 20 years (1999-2018) to set the current fertilization management. To calibrate the crop related parameters, we fitted the simulated crop yields with the available observed data of annual crop yields in conventional and organic farms (Luke Statistics database, 2021).

Five-year crop rotations were simulated, in agreement with the most representative cropping systems of the area under study.

In the studied crop farm, rotations included cereals (with fodder pea in the organic treatment), oilseed rape and grass. The simulated cropping systems were five: C1-R: conventional, mineral fertilizer, removed crop residues; C2+R: conventional, mineral fertilizer, retained crop residues; C3+R: conventional, mineral and slurry, retained crop residues; O1+R: organic, green manure, retained crop residues; O2+R: organic, Ecolan Agra® (meat and bone meal-based commercial organic fertilizer), retained crop residues.

In the livestock farm, the rotation consisted of two years of cereals followed by a 3-year festuca + timothy meadow. Two cropping systems were simulated for livestock farm: C-R: conventional, mineral fertilizer and slurry, removed crop residues; O-R: organic, slurry, removed crop residues.

Results and Discussion

- Soil organic carbon simulation in plant systems

The results of the simulations reported in figure 2 showed that conventional plant production systems led to relevant SOC decline of more than 700 kg ha⁻¹yr⁻¹ at 0-30 cm soil depth for the cropping system C1-R. Retaining the cereal straws (C2+R) allowed for a slight reduction of C losses,

which were 600 kg ha⁻¹yr⁻¹. The introduction of slurry as a partial replacement of mineral fertilizer did not cause any substantial improvement. Organic systems showed either less SOC decline (120 kg ha⁻¹yr⁻¹) as in O1+R, or slight SOC increase (55 kg ha⁻¹yr⁻¹) as in O2+R. The introduction of green manure and the total replacement of the mineral fertilizer with slurries had an evident positive effect in reducing the C losses, as well as the Ecolan Agra®, that is characterized by a high content of very stable carbon.

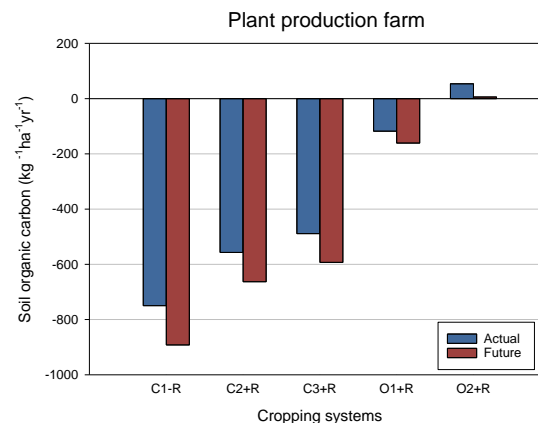


Fig. 2. Change of soil organic carbon simulated by the ARMOSA model in plant based cropping systems. See the text for definition of the labels on the x axis.

Fig. 2. Variazione del contenuto di carbonio organico nel suolo simulate dal modello ARMOSA per i sistemi colturali basati sulle produzioni vegetali. Far riferimento al testo per le etichette sull'asse x.

Under the future climatic conditions, the model estimated a faster degradation of organic carbon for all the cropping systems, with a similar ratio for all the systems. O2+R still resulted in a negligible increase in soil carbon.

- Nitrate leaching simulation in plant systems

As displayed in Figure 3, annual leaching was generally low and that is in line with the measurements in long-term Finnish experiments (Salo and Turtola, 2006). The organic system with green manure had limited leaching, i.e. 3 kg NO₃-N ha⁻¹ yr⁻¹. It is worth to remark that the two organic systems did not cause any increase in nitrate leaching in the future climate scenario, while the conventional cropping system exceeded the 10 kg NO₃-N ha⁻¹ yr⁻¹ threshold.

- Soil organic carbon simulation in animal systems

The simulation of the livestock system (Figure 4) showed a loss of organic C of about 150 kg ha⁻¹yr⁻¹ with very little differences between organic and conventional system. This is likely due to the fact that grass is the most recurring crop in the rotation and either the organic or conventional system lay on the use of slurry as N-fertilizer. Grass is managed in a similar way in the two systems and the aboveground biomass was removed being the fodder for livestock. Therefore, this crop determines negligible amount of

residues. Model forecasted an increase of carbon losses in the future climatic conditions, more evident in the conventional system due to higher crop production, which results in higher amount of crop residues and in turn of soil carbon. In addition, soil carbon balance is negative in the organic system due to the fact that cereal straws are typically removed being used in the rearing of beef and dairy cattle.

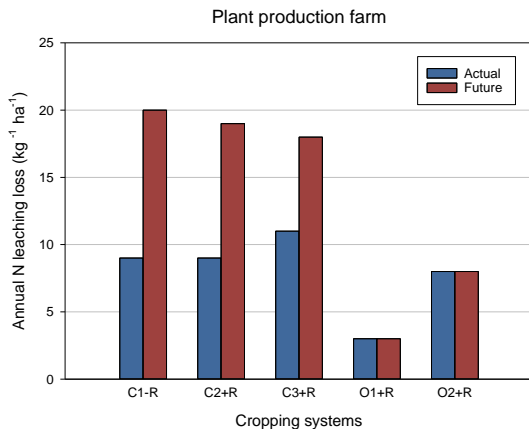


Fig. 3. Lisciviazione dei nitrati simulata dal modello ARMOSA per i sistemi colturali basati sulle produzioni vegetali. Far riferimento al testo per le etichette sull'asse x.
 Fig. 3. Nitrate leaching simulated by the ARMOSA model in Plant based cropping systems. See the text for definition of the labels on the x axis.

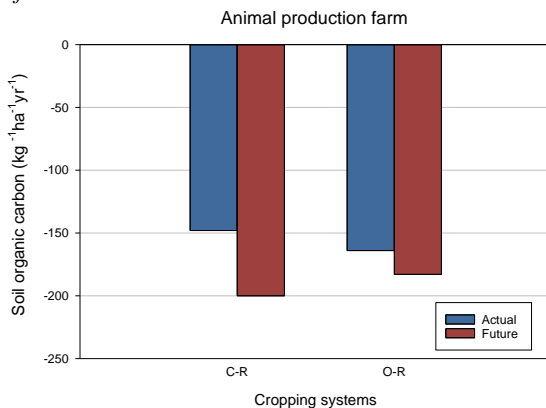


Fig. 4. Soil organic carbon simulated by the ARMOSA model in animal-based cropping systems. See the text for definition of the labels on the x axis.
 Fig. 4. Variazione del contenuto di carbonio organico nel suolo simulate dal modello ARMOSA per i sistemi colturali basati sulle produzioni animali. Far riferimento al testo per le etichette sull'asse x.

- Nitrate leaching simulation in animal systems

Nitrate leaching in livestock farm (Figure 5) is similar in organic and conventional systems (respectively 6 and 8 kg NO₃-N ha⁻¹ yr⁻¹) and similar to the leaching estimated in the

crop farm. Under future climate, ARMOSA simulates an increase of leaching for both conventional and organic systems, with a higher rise in the organic systems.

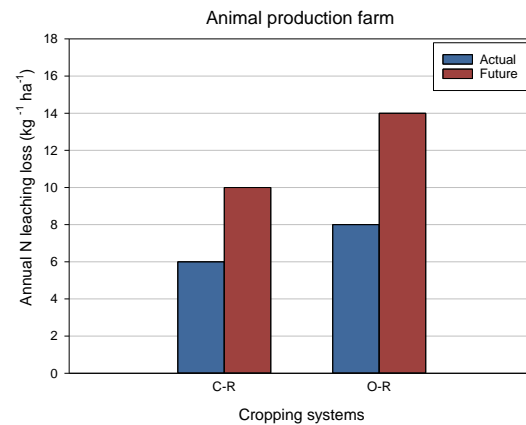


Fig. 5. Nitrate leaching simulated by the ARMOSA model in animal-based cropping systems. See the text for definition of the labels on the x axis.

Fig. 5. Lisciviazione dei nitrati simulata dal modello ARMOSA per i sistemi colturali basati sulle produzioni animali. Far riferimento al testo per le etichette sull'asse x.

Conclusions

Loss of soil organic matter is a relevant issue in northern countries. This paper proposes a method for a “a priori” assessment of the effect of different cropping systems on the carbon dynamics and on nitrate leaching using a process-based simulation model. Even if calibration was done using regional statistical data (both for conventional and organic productions), but not on experimental data, the model is able to mimic the behavior of the different cropping systems under actual and future climate. From the simulation is evident that in the studied environment is really difficult to preserve or increase the soil organic matter, and that this concern will be more evident under the future climate. Only in the organic plant-based system with crop residues incorporation, green manure, and the application of a fertilizer with highly stable carbon, it was possible to avoid carbon losses in the actual and future climate. Unexpectedly, the animal-based cropping systems were not able to maintain the actual level of carbon in soil, either in organic or conventional system. In these systems, even if the presence of grass improved the soil carbon balance, the straw removal of cereals and the low stability of organic matter distributed with the slurry application do not allow to meet the carbon preservation objective. Although nitrate leaching seems to be limited and not worth of concern, but conventional crop systems demonstrate to be prone to an increase of leaching under the future climatic conditions. Giving that the organic system does not seem to be effective to enhance soil organic carbon in the studied pedoclimatic conditions, it is needed to explore alternatives based on conservation agriculture principles, and eventually to develop a new organic and conservative cropping system, already experimented in other European countries.

References

- Akujärvi A., Heikkinen J., Palosuo T., Liski J., 2014. Carbon budget of Finnish croplands- effects of land use change from natural forest to cropland. *Geoderma Reg.* 2-3: 1–8.
- Duveiller G., Donatelli M., Fumagalli D., Zucchini A., Nelson R., Baruth B., 2017. A dataset of future daily weather data for crop modelling over Europe derived from climate change scenarios. *Theor. Appl Climatol* 127:573–585.
- Karimi T., Stöckle C.O., Higgins S.S., Nelson R.L., 2021. Impact of climate change on greenhouse gas emissions and water balance in a dryland-cropping region with variable precipitation. *J. of Environmental Management* 287, 112301.
- Luke Statistics database, 2021. http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/en/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__14%20Satotilasto/01_Viljelykasvien_sato.px/?rxid=dc711a9e-de6d-454b-82c2-74ff79a3a5e0
- Perego A., Giussani A., Sanna M., Fumagalli M., Carozzi M., Alfieri L., Brenna S., Acutis M., 2013. The ARMOSA simulation crop model: overall features, calibration and validation results. *Ital. J. Agrometeorol.* 3:23–38.
- Pirttioja N., Carter T.R., Fronzek S., Bindi M., Hoffmann H., Palosuo T., Ruiz-Ramos M., Tao F., Trnka M., Acutis M., Asseng S., Baranowski P., Basso B., Bodin P., Buis S., Cammarano D., Deligios P., Destain M.F., Dumont B., Ewert F., Ferrise R., François L., Gaiser T., Hlavinka P., Jacquemin I., Kersebaum K.C., Kollas C., Krzyszczak J., Lorite I.J., Minet J., Minguéz M.I., Montesino M., Moriondo M., Müller C., Nendel C., Öztürk I., Perego A., Rodríguez A., Ruane A.C., Ruget F., Sanna M., Semenov M.A., Slawinski C., Stratonovitch P., Supit I., Waha K., Wang E., Wu L., Zhao Z., Rötter R.P., 2015. Temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect: A crop model ensemble analysis using impact response surfaces. *Climate Research* 65:87–105.
- Salo T., Turtola E., 2006. Nitrogen balance as an indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agric.Ecosyst. Environ* 113: 98–107.
- Schrama M., de Haan J.J., Kroonen M., Verstegen H., Van der Putten W.H., 2018. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosyst. Environ.* 256: 123–130.
- Valkama E., Kunyapiyeva, G., Zhapayev R., Karabayev M., Zhusupbekov E., Perego A., Schillaci C., Sacco D., Moretti B., Grignani C., Acutis M., 2020. Can conservation agriculture increase soil carbon sequestration? A modelling approach. *Geoderma* 369, 114298.

EVOLUZIONE DEL RISCHIO GELATE TARDIVE IN EMILIA-ROMAGNA

EVOLUTION OF LATE FROST RISK IN EMILIA-ROMAGNA

Gabriele Antolini*, Valentina Pavan, William Pratzoli, Giulia Villani

Arpae – Osservatorio Clima

* gantolini@arpae.it

Abstract

In the last two springs (2020 and 2021), frost have caused losses for several M€ in agricultural production in Emilia-Romagna region (Italy). The regional winter warming leads to an early vegetative awakening in the crops, and to a general advance in phenological phases, which makes the crops more sensitive to cold spells. Furthermore, in the last years the climatic variability in spring seems to be amplified, with an increase in intra-seasonal thermal variations, so that the number of frost days in some spring ten-days periods is increasing. The combined result of these phenological and meteorological conditions is a probable increase in frost risk for crops. Given the complexity of the problem it is difficult to quantify the trend in terms of climate change impact on agriculture.

Parole chiave italiano

gelate, cambiamenti climatici, rischio climatico

Keywords english

frost, climate change, climatic risk

Introduzione

Le gelate sono una delle principali avversità dell'agricoltura delle medie latitudini. Di particolare rilevanza sono le gelate tardive, ossia i ritorni di freddo dopo l'inverno, che avvengono quando la coltura ha già riaperto le gemme dopo la dormienza invernale e si trova in fasi di sviluppo particolarmente sensibili. La discesa della temperatura sotto lo zero può provocare il congelamento dell'acqua all'interno delle cellule o negli spazi intracellulari degli organi riproduttivi delle piante, producendo rotture delle membrane e disidratazione dei tessuti. Il verificarsi e l'ammontare dei danni dipendono dalla sensibilità propria della specie e della cultivar al momento della gelata, che a sua volta è funzione della fase di sviluppo, e dalla durata del periodo trascorso al di sotto della temperatura critica (Snyder e Melo-Abreu, 2005). Singoli eventi di raffreddamento sono in grado di compromettere, anche totalmente, la produzione di un'annata agraria intera. In Emilia-Romagna danni da gelo si osservano in particolare per le colture frutticole, ma anche le orticole, la vite, l'ulivo possono subire danneggiamenti da freddo. Negli ultimi due anni la produzione agricola, in particolare frutticola, ha subito perdite rilevanti, stimate per esempio per l'Emilia-Romagna in circa 400 milioni di euro nel 2020 (Regione Emilia-Romagna, 2020), a causa di fenomeni di gelata tra marzo e inizio aprile, quando la maggior parte delle piante da frutto erano già ampiamente in fase di fioritura. Sono sempre più frequenti gli inverni miti che si verificano a seguito del riscaldamento climatico, che per la temperatura media dell'Emilia-Romagna è stimato in circa 0,3 °C/decennio a livello medio annuale (Antolini et al., 2017). Negli ultimi anni si è inoltre assistito ad un'amplificazione della variabilità climatica primaverile, con un aumento

dell'ampiezza delle variazioni termiche intra-stagionali. In particolare, i flussi di calore da sud a nord in questa fase sono in parte sostenuti da perturbazioni di scala sinottica con il risultato dell'alternarsi di periodi con temperature nettamente superiori alla media stagionale, ad altri più freddi, associati a pioggia e talvolta addirittura a nevicate primaverili fino a bassa quota. Nonostante questi eventi, se pur climatologicamente rilevanti, abbiano un impatto diretto limitato sulle colture, l'avvezione fredda ad essi associata, instaura le condizioni ideali perché si verifichi una gelata radiativa di notevole intensità.

La valutazione del rischio climatico da gelata in agricoltura, e in particolare la sua evoluzione nel contesto dei cambiamenti climatici in atto, è estremamente complessa, poiché richiede un approccio integrato che possa considerare insieme la variabilità climatica su scala sinottica, la fisiologia delle piante e l'elevatissima variabilità spaziale tipica delle gelate radiative (Antolini et al., 2006). Nel presente lavoro si cerca di individuare e quantificare alcuni degli elementi che concorrono a determinare il rischio, per valutarne la tendenza nel lungo periodo.

Materiali e Metodi

Gli elementi analizzati nel presente studio sono le temperature giornaliere del dataset ERG5 Eraclito (<https://dati.arpae.it/dataset/erg5-eraclito>). In primo luogo, per il territorio di pianura e prima collina (< 150 m), laddove si concentra la maggior parte della frutticoltura regionale, si è analizzata la temperatura media della stagione meteorologica invernale (mesi di dicembre, gennaio e febbraio), considerando una sommatoria termica

tipica delle colture frutticole (soglia 7 °C) per verificarne la tendenza. Questo indicatore, pur se approssimativo, rappresenta un proxy generico correlato alle tempistiche dell'uscita delle colture frutticole dalla dormienza invernale. Per semplicità, non si considerano contributi della vernalizzazione (unità di freddo), che pure sono importanti per alcune specie. In seguito, sempre per lo stesso territorio, si sono calcolate le variazioni tra clima passato e clima presente del numero di giorni con temperatura minima sotto determinate soglie (0 °C, -1 °C, -2 °C) per alcune decadi di marzo e aprile, significative ai fini della sensibilità culturale. Infine, le tendenze del numero di giorni sotto le diverse soglie termiche, e la loro significatività, sono state calcolate sull'intero periodo 1961-2020 su ogni cella del dataset ERG5 Eraclito, per valutarne anche la variabilità spaziale.

Risultati e Discussione

Le sommatorie termiche invernali evidenziano per il territorio di pianura una chiara tendenza, statisticamente significativa ($p < 0.01$), all'aumento (Fig. 1). Tale risultato indica una tendenza all'anticipo nel risveglio vegetativo da parte delle colture frutticole, anche se tale risultato andrebbe confermato da studi più specifici sulle diverse colture, considerando le diverse soglie termiche e il contributo della vernalizzazione, utilizzando per esempio la modellistica fenologica disponibile.

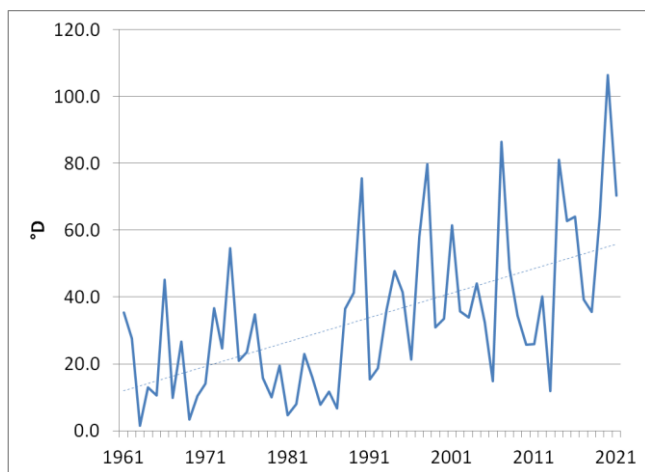


Fig.1. Andamento temporale della sommatoria gradi giorno invernale (soglia 7 °C).

Fig.1. Time course of winter Degree Days cumulation (thresholds 7 °C)

La tabella 1 mostra invece, per il territorio di pianura, la variazione osservata tra clima passato (1961-1990) e clima appena concluso (1991-2020) nel numero di giorni sotto tre diverse soglie di temperatura (0, -1, -2 °C), suddividendo per le diverse decadi dei due mesi più rilevanti nel determinare eventuali danni da gelata tardiva. I risultati evidenziano come per le prime due decadi di marzo vi sia stata una riduzione del numero di giorni di gelo (per tutte le

soglie), ma vi sia un segnale opposto per l'ultima decade di marzo e per la prima di aprile: per queste due decadi si passa da 6 eventi a 25 (soglia 0 °C), da 3 eventi a 12 (soglia -1 °C), e da 2 a 5 (soglia -2 °C) in marzo; per la prima decade di aprile si sono osservati nel clima recente rispettivamente 4, 3 e 1 eventi sotto le soglie di 0, -1 e -2 °C, mentre non si erano osservati eventi per il clima passato. Per le altre decadi di aprile non si segnalano eventi in entrambi i periodi climatici, ad esclusione di 2 eventi sotto 0 °C nel clima passato. Va sottolineato che i numeri appena menzionati si riferiscono a eventi in cui la temperatura minima mediata sull'intero territorio di pianura e prima collina è scesa sotto la soglia considerata. Si tratta quindi di episodi di condizioni di gelo generalizzato sull'area, poiché l'interesse qui è una valutazione dei ritorni di freddo e della loro variabilità climatica su scala regionale, più che l'analisi degli eventi di gelo e del campo termico a scala locale.

Tab. 1. Numero di giorni sotto diverse soglie di temperatura, per le diverse decadi di marzo e aprile, per i periodi climatici 1961-1990 e 1991-2020.

Tab. 1. Number of days under different temperature thresholds, for different decades of March and April, for climatic periods 1961-1990 and 1991-2020

Mese	Marzo								
Decade	1			2			3		
Soglia	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	-2
1961-1990	77	49	37	46	32	17	6	3	2
1991-2020	56	40	25	23	13	5	25	12	5

Mese	Aprile								
Decade	1			2			3		
Soglia	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	-2
1961-1990	0	0	0	2	0	0	0	0	0
1991-2020	4	3	1	0	0	0	0	0	0

La figura 2 riporta le mappe regionali della tendenza sul periodo 1961-2020 del numero di giorni con temperatura minima sotto 0 °C, per l'ultima decade di marzo e la prima di aprile. Per la prima decade di marzo, emerge un aumento tra 1 e 3 giorni in più per decennio su gran parte della pianura e in ampie zone della collina, con valori fino a oltre 4-5 giorni in più per decennio nel piacentino. Per la prima decade di aprile, il segnale è meno evidente, anche se pare più diffuso l'aumento del numero di giorni di gelo nelle zone di pianura e di collina, e una diminuzione sul crinale appenninico. Tranne la zona del piacentino, comunque le tendenze non presentano significatività statistica.

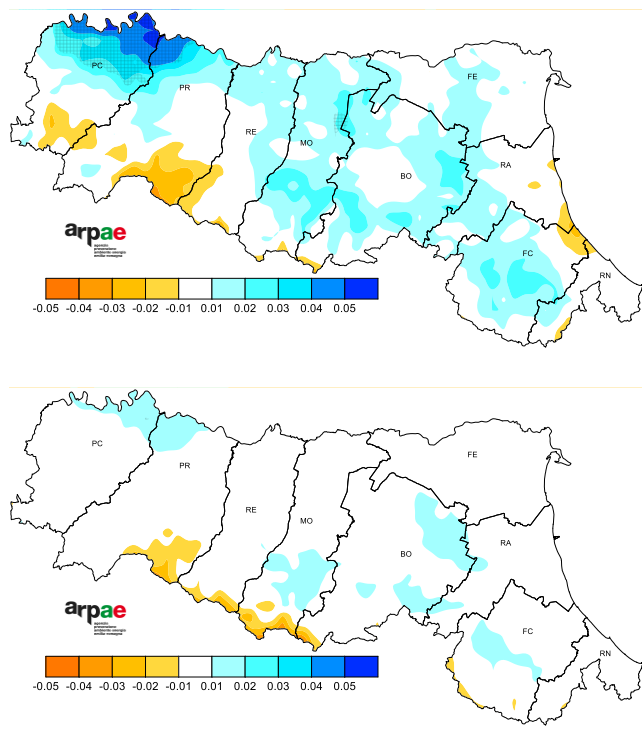


Fig. 2. Mappe della tendenza 1961-2020 del numero di giorni di gelo (temperatura minima inferiore a 0 °C), per la terza decade di marzo (in alto) e per la prima decade di aprile (in basso). I valori sono espressi in numero di giorni per anno. La retinatura indica che il trend è statisticamente significativo (test di Mann Kendall, $p < 0.05$).

Fig. 2. Trend maps 1961-2020 of the number of frost days (minimum temperature below 0 °C), for the third decade of March (top) and for the first decade of April (bottom). Values are expressed in number of days per year. The screening indicates that the trend is statistically significant (Mann Kendall test, $p < 0.05$).

Conclusioni

Nel contesto di un generale aumento delle temperature, in regione Emilia-Romagna il rischio da gelata tardiva in agricoltura non pare subire una riduzione. Al contrario, l'aumento della variabilità climatica connessa al clima recente (1991-2020) è responsabile di una maggiore presenza di eventi di gelo tardivo nei periodi compresi tra l'ultima decade di marzo e la prima decade di aprile, periodi critici per le fasi particolarmente sensibili che attraversano mediamente le colture, in particolare le frutticole. La tendenza a inverni sempre più miti risulta evidente sul periodo 1961-2020 e statisticamente significativa, elemento che può concorrere ad aumentare il rischio che i ritorni di freddo si verificano in fasi critiche per le piante.

È auspicabile un approfondimento dell'analisi dei campi climatici connessi alla variabilità osservata, così come un approccio modellistico dello sviluppo delle piante per tentare di quantificare, attraverso una valutazione agrometeorologica complessiva, il rischio climatico e la sua dinamica temporale.

Ringraziamenti

Questo contributo viene presentato nell'ambito del Progetto ADA (LIFE19 CCA/IT/001257) finanziato dal programma LIFE della Commissione Europea.

Bibliografia

- Antolini G., Pavan V., Tomozeiu R., Marletto V., 2017. Atlante climatico dell'Emilia-Romagna 1961-2015. ARPA.
- Antolini G., Georgiadis T., Zinoni F., 2006. Una metodologia integrata per la valutazione del rischio da gelata in agricoltura. Atti Convegno AIAM "Agrometeorologia e gestione delle colture agrarie", Torino 6-8 giugno.
- Regione Emilia-Romagna, 2020. <https://www.regione.emilia-romagna.it/notizie/2020/aprile/agricoltura-in-emilia-romagna-e-di-400-milioni-il-primo-bilancio-dei-danni-delle-gelate-nei-campi>
- Snyder R.L., Melo-Abreu J.P. de, 2005. Frost protection: fundamentals, practice and economics. Vol.1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 223 pp

PERCEZIONE DEI RISCHI CLIMATICI DA PARTE DEI VITI-VINICOLTORI ITALIANI E LORO LIVELLO DI ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

PERCEPTION OF CLIMATE RISKS BY THE ITALIAN WINEGROWERS AND WINE MAKERS AND THEIR LEVEL OF ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Camilla Chieco^{1*}, Slaven Tadić¹, Lucia Morrone¹, Massimiliano Magli¹, Stefano Pedò³, Gian Antonio Battistel², Luca Zulini², Federica Rossi¹, Emanuele Eccel²

¹ Institute of BioEcomy, National Research Council ² Research Innovation Centre, Fondazione Edmund Mach ³ Transfer Technology Centre, Fondazione Edmund Mach

* camilla.chieco@ibe.cnr.it

Abstract

This study reports the results of a survey disseminated to Italian winegrowers and wine makers to understand their perception of the main climate risks on grape and wine productions and their willingness to take action in facing the related problems. A general noticeable concern about the future effects of climate change and variability has emerged, even with some differences between stakeholders operating in different geographic and climatic areas. Current signals of adaptation have emerged, as some are switching from traditional to pest and drought resistant varieties, to water-saving irrigation methods, environmentally friendly and climate-smart cultural practices.

Parole chiave

cambiamento climatico, vite, adattamento, sondaggio.

Keywords

Climate Change, grapevine, adaptation, survey.

Introduction

According to OIV, Italian vineyards produced in the latest decade on average 17% of the entire world wine production, providing livelihoods to over 200.000 farmers and wine industry workers.

The wine sector is particularly exposed to climate changes (Santos *et al.*, 2020) and it is already called to implement strategies to deal with the future potential impact on productions. However, the sector is pegged at very old traditions and a major effort is needed for its adaptation to the increasing difficulties imposed by a changing environment (Santillán *et al.*, 2019; Fraga *et al.*, 2013).

The impacts of climate changes (CCs) are expected to be heterogeneous across vine varieties and regions (Jones *et al.*, 2005). The Italian grapevine cultivation area is expected to change further in the next century, being the Mediterranean region a climate “hot spot” (Fraga *et al.*, 2013). The temperature is expected to increase even more than in other world regions, leading to conditions that might turn out too warm for the production of specific PDO wines (Jones *et al.*, 2005). Several model simulations witness the interest in this prognostic exercise concerning the Mediterranean and particularly Italy (Malheiro *et al.*, 2010; Moriondo *et al.*, 2013; Eccel *et al.*, 2016; Alikadić *et al.*, 2019). Thanks to the economic importance and to the historical tradition, the wine sector, more than other agricultural ones, has always been characterized by a strong capacity of autonomous adaptation, due to the high attention

of winegrowers to the environment and, specifically, to climate (Battaglini *et al.*, 2009). This makes winegrowers and wine makers valuable allies in verifying the extent of CC impacts, either predicted or already occurring.

For this purpose, under the MEDCLIV project, a survey was disseminated to both winegrowers and wine producers in the Mediterranean, to get a feedback of the perceived risks due to CC and to investigate their willingness to take action in facing the problems. This work analyses the results of the Italian answers to the survey and aims to assess the priorities of the wine sector in the different national viticultural areas.

Methodology

The national dissemination of the survey lasted from May to November 2020 and was extended to all Italian regions. The questionnaire was submitted online via a platform managed by IBE – CNR. After common general questions (gender, age, region of production, farm altitude), participants complied different parts for winegrowing or wine making categories.

The questionnaire consisted of multiple-choice questions. Winegrowers were asked on vineyard size, type of viticulture (conventional, integrated, organic and biodynamic), choice of varieties, water resources and irrigation, pest and disease management, cultivation techniques, and insurance underwriting. For some

questions, farmers were allowed to choose more than one answer (i.e. vineyard management techniques, choice of varieties, irrigation method, cultivation techniques). This explains percentages higher than 100% for some answers.

The questionnaire for winery owners included questions on winery property (uni-personal owned winery, cooperative or non-cooperative winery), wine production and change in quality in terms of pH, alcoholic content and aromatic profile. The final questions, posed to both, addressed long-term concerns and perceptions of the impact of climate change, now and in the future.

Responses were grouped within three main Wine Growing Zones (WGZs) as identified in Appendix I, Council Regulation (EC) No. 1308/2013: CI (Trentino-Alto Adige, Valle d'Aosta), CII (Abruzzo, Campania, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Liguria, Lombardia, Marche, Molise, Piemonte, Toscana, Umbria, Veneto) CIII (Basilicata, Calabria, Puglia, Sardegna, Sicilia). Such classification takes into account differences in terms of climatic conditions and of some physiological aspects, such as the required grape maturity at harvest and the levels of sugar reached.

Multiple-choice responses were processed with R software, applying ANOVA to find out significant differences in relative frequencies and Pearson's chi-square test to point out association between answers.

Results and discussion

Participant profiles

The respondents were 442, 364 of which fully completed the questionnaire (71.7% male, 21.4% female) (tab 1). Ages were mainly distributed within the range of 30-45 years old (32.7%) and 46 – 60 years old (46.2%). The highest number of responses came from farms below 400 m a.s.l., 40.7% from the plain and 45.9% from the hills; 75.5% of respondents were both winegrowers and wine producers.

The highest percentage of answers (76.6%) came from the zone CII, which includes the largest number of Italian regions (12), while 16.5% were from zone CIII (5 regions) and 6.9 % from CI, including only 2 regions.

The vineyard extensions were equally divided among 4 size classes (1-5 ha; 6-10 ha; 11-25 ha and > 25 ha), at around 20%; while only 1,8% of participants declared a size less than 1 ha. 47.7% of participants were primarily doing organic or biodynamic viticulture, 43.3% integrated, and 21.9% conventional.

Most of the wineries were uni-personal owned (79.7%), 12% cooperative and only 6.8% non-cooperative. Almost half of participants (42.6%) produced among 100 and 1000 hl/year, 28.7% among 1000 and 10000 hl/year while 13.2% were big producers with more than 10000 hl/year. The remainder produced less than 100 hl/year.

Varietal choice

Winegrowers were questioned if they had introduced new varieties in the last years in their vineyards, and, if so, which criteria drove the choice (pest resistance, drought

resistance, cold tolerance, late ripening, early ripening, market demand). It is well known that the introduction of well-adapted genotypes is a strategic tool for both adaptation and mitigation, as it leads to minimize chemical and agronomic inputs and water use (Van Leeuwen and Destrac-Irvine, 2017).

Tab. 1. Profilo dei partecipanti

Tab. 1. Profile of participants

<i>Gender</i>	<i>%</i>
Man	71.7
Female	21.4
No reply	6.9
<i>Age</i>	
< 30	4.7
30 - 45	32.7
46 - 60	46.2
> 60	16.5
<i>Farm altitude</i>	
0-200 m	40.7
200-400 m	45.9
400-900 m	12.6
> 900 m	0.8
<i>Wine growing Zone (WGZ)</i>	
ZONE CI	6.9
ZONE CII	76.6
ZONE CIII	16.5
<i>Typology</i>	
vineyard owner	18.6
winery owner	6.0
both	75.3

In all the investigated zones more than half of the farmers has introduced, or plan to do it soon, new varieties, without significant differences between the three WGZs ($p = 0.6826$). The market demand was the main criteria guiding the choice of new varieties for all zones (61.5%, 46.8% and 50.0% for CI, CII and CIII, respectively). Data collected clearly indicated a prevalence in the choice of drought-resistant varieties in the southern areas, with 32,4% of winegrowers in zone CIII opting for this choice. A considerable percentage of farmers has chosen pest-resistant varieties in zone CII (28.8%), while much fewer did in zones CIII (23.5%) and CI (23.1 %). As expected, late ripening varieties were preferred in the southern areas (11.8% in CIII), while early ripening varieties were the main choice in the northern areas (15.4% in CI).

Access to water and irrigation

This part of the survey was dedicated to collect information on water use in the field: growers were asked if they had access to any water resources near or in the perimeter of their vineyards and, if so, whether irrigation was in place or not.

In chi-square test, significant differences between WGZs emerged both for water access ($p = 3.158e^{-07}$) and use of irrigation ($p = 0.0007231$). Zone CI mostly had total access to water and use of irrigation (94.8%). In CII only 60% of winegrowers had water access and, between them, 58% used water to irrigate. In zone CIII, despite a high access to water (74.6%), only half of those having access to water had irrigation on site. In all WGZs, only a small number of winegrowers considered the option to have, implement or modify the irrigation system in the future, even if some of them had water access.

Drip irrigation was the most used irrigation method in all WGZs, indicating a high willingness to efficiently use water. In zones CI and CII, a percentage of sprinkler irrigation is still persisting (11.1% and 16.1%, respectively), while surface (less than 6%) and flood irrigation types (2.2%) are negligible.

Pests and diseases

A list of the most common pests and diseases for viticulture in the Mediterranean as in EIP-AGRI (2019) was presented to winegrowers who were asked to rate each of them on a scale 1-5, where 1 corresponded to “no damage”, 2 to “low damage”, 3 to “medium damage”, 4 to “high damage” and 5 to “greatest damage”.

The results showed that damages caused by vine pests and diseases are currently low, never reaching level 3. However, in the analysis of variance, significant differences ($p < 0.0001$) were found between pathogens. Powdery mildew (*Erysiphe necator*) was the most damaging pest, followed by Downy mildew (*Plasmopara viticola*) and Grapevine trunk diseases. For all other pests and diseases in the list, a very low level of damage (< 2) was found.

When analyzed by WGZs, flavescence dorée (*Candidatus Phytoplasma vitis*) mainly affected zone CII; while grapevine trunk diseases was considered more harmful in zone CI and CII ($p < 0.001$), as well as grey mould (*Botrytis cinerea*) ($p < 0.05$).

Cultivation techniques

Winegrowers were asked to indicate, among a list of cultural practices, those currently applied versus those applied in the past. The cultural practices listed (thinning, use of antitranspirants, green pruning, leaf removal practices, row cover cropping, late shoot topping) have been recognized as capable to improve resilience in agriculture (van Leeuwen and Destrac-Irvine, 2017; Paliotti, *et al.*, 2013).

A general positive increase in the adoption of climate-smart cultivation techniques was recorded throughout Italy.

No significant differences emerged between WGZs in the current cultivation techniques ($p = 0.2401$): in all WGZs green pruning resulted one of the most used practices (89.5% in CI and CIII and 79.3% in CII), while row cover cropping was mostly used in CI (94.7%) and CII (77%), and less in CIII (45.6%). Late shoot topping and leaf removal practices were also highly exploited by farmers, especially

with respect to the past. These two techniques are obtaining a growing attention by winegrowers because, compared to the past, they are now more carefully modulated, allowing a slower ripening, with lower levels of sugars and a more marked acidity (Petrie *et al.*, 2003). The use of anti-transpirants was mainly adopted in zone CI, where 15.8% of the interviewed winegrowers confirmed its adoption, even if this technique could be particularly effective in the dry areas. In fact anti-transpirants reduce transpiration by forming a film that limits moisture losses and are effective in reducing sugar accumulation without significantly affecting the accumulation of phenolic compounds (Paliotti *et al.*, 2013).

Insurance

The survey asked winegrowers to indicate if they had any sort of insurance policies and, in case, which one among a list (hail, late frost, wind, excessive rainfall/flooding, drought, wild animals, pluri-coverage/multi risk). Although, with respect to the past, a significant increase in insurance coverage was recorded especially in CI and CII ($p < 0.05$), more than half (54%) of the interviewed winegrowers do not currently have any forms of insurance policies.

No significant differences emerged between WGZs in the kind of policies in use ($p = 0.4975$) between the claimed ones; insurance against hail damage, although decreasing with respect to the past, is still the most commonly present. The occurrence of insurances for excessive rainfall, drought, wild animals and multi risk increased in CI when compared to the past, while late frost insurance decreased slightly. CII showed a general increment of all types of insurances, with a major underwriting for wind and late frost policies. Current insurances for wind, wild animals and multi risk increased in zone CIII while insurance for late frost and flooding decreased. Drought insurance in CII remained unchanged.

Use of insurance policies is highly recommended by EU Common Agricultural Policies (CAP), as they are considered a valuable tool for fostering agricultural resilience and adaptation to climate change (Iglesias and Garrote, 2015). Our results underline an inadequate use of insurance policies in Italy, a lack that should be remedied by setting up appropriate national policies to encourage their use.

Wine quality

Warmer conditions, modifications in rainfall patterns, increase in temperatures, drought and incoming radiations influence plant development and physiology, including grape composition. More sugar, less organic acids, increase in phenolic content are all expected modifications as a consequence of CC, with potential effects on wine quality and typicality (Van Leeuwen and Destrac-Irvine, 2017).

Table 2 reports the results of information collected from wineries about the perceived changes in some wine characteristics (increase of pH and alcoholic content and changes in the aromatic profile). In chi-square test no

significant differences in the increase of pH emerged between the WGZs ($p = 0.1007$), even if, when comparing zones CI and CIII, the increase was significantly more noticeable in CI (52.9% against 27.1%) ($p=0.07419$).

On the contrary, significant differences emerged among the three WGZs both for alcoholic content ($p = 6.995e^{-07}$) and changes of aroma profiles ($p = 0.03953$) of the wine. CI and CII resulted more characterized by an increase in the wine alcoholic content (64.7% and 67.5% respectively) with respect to CIII (31.3%), while zone CII proves to be the most affected by changes in the wine aromatic profile (46.8%).

Tab. 2. Percezione dei cambiamenti nelle caratteristiche del vino da parte dei WGZ. I dati sono in percentuale. Le differenze statistiche sono determinate in base al test del chi quadrato ($P > 0,05$)

Tab. 2. Perception of changes in wine characteristics by WGZs. Data are in percentages. Statistical differences are determined according to Chi-squared test ($P > 0.05$)

Wine quality	WGZ	CI	CII	CIII
pH	No	41.2	40.3	56.3
	Yes	52.9	44.2	27.1
	Not known	5.9	15.6	16.7
	p-value = 0.1007			
Alcohol	No	23.5	30.7	68.8
	Yes	64.7	67.5	31.3
	Not known	11.8	1.7	0.0
	p-value = $6.995e^{-07}$			
Aroma	No	76.5	45.5	62.5
	Yes	23.5	46.8	31.3
	Not known	0.0	7.8	6.3
	p-value = 0.03953			

Main future concerns

A list of potential problems related to the professional activity was posed both to winegrowers and wine producers. Respondents were questioned to rate their level of concern on a scale of 1 - 5 (1 “no concern”, 2 “low concern”, 3 “medium concern”, 4 “high concern” and 5 “greatest concern”). The list included economic and regulation issues (difficulties in finding skilled labour, reduction of public aid and increased regulation, economic crisis and decrease in wine demand, increased barriers to export) as well climate change related problems (reduction of profitability of grape and wine production, increased pests and diseases, water stress, climate change, reduction of quality and loss of typicality, unpredictable weather). The average values obtained for whole Italy are shown in table 3. Climate change, unpredictable weather, economic crisis and reduction of profitability of productions has been found to

be significantly greater concerns for the national wine sector. Conversely, the increasing barrier to export and the reduction of quality and loss of typicality have been found as the least worrisome concerns for the future among those proposed. Analyzing the average values per WGZs, no significant differences emerged, except for the concern linked to the difficulty in finding skilled labor, which is stronger in zone CIII than in CI and CII.

Climate Change

Respondents to the survey were finally asked to express their opinion about the effects that climate change currently has, and will have, on their activity. The Chi-squared test showed no significant differences between the WGZs in perception of effects of climate changes both in short term ($p = 0.1282$) and in long term ($p = 0.7921$).

Tab. 3. Valori medi delle preoccupazioni future (scala 1-5, 5 molto importanti) per l'Italia. Le differenze statistiche sono determinate in base all'ANOVA unidirezionale; i valori seguiti da lettere diverse sono significativamente differenti secondo il test di Tukey.

Tab. 3. Average values of future concerns (1-5 scale, 5 very important) for Italy. Statistical differences are determined according to one-way ANOVA; values followed by different letters are significantly different according to Tukey's test.

Future concerns	Average value
Climate change	3.70 a
Unpredictable weather	3.66 a
Economic crisis and decrease in wine demand	3.57 a
Reduction of profitability of grape and wine production	3.24 a
Reduction of public aid and increased regulation	3.19 bc
Increased pests and diseases	3.15 bc
Water stress	3.12 bc
Difficulty in finding skilled labour	3.05 bc
Increased barriers to export	2.94 c
Reduction of quality and loss of typicality	2.34 d
p-value	<0.0001

There is a general prevalence of a negative perception of short term effects of CCs in all WGZs. A more pronounced perception was noted for CII and CIII (60%), even if a high percentage of respondents still claims that CCs have no effect (31.6%, 21.9% and 29.4% for CI, CII and CIII respectively) or a positive effect (31.6%, 17.6% and 9.8% for CI, CII and CIII, respectively) on their activities.

In the long term, the percentage of respondents who believe that CCs will have no effect or a positive effect drop

drastically, registering a consequent increase of those believing that CCs will have a negative effect on their activities (94.7%, 88.0% and 90.2% for CI, CII and CIII respectively).

Conclusions

Although operating in different geographic and climatic areas, the perception and the concerns about the future effect of CCs on the Italian wine value chain actors did not show significant differences. The state-of-the-art identifies water scarcity as one of the greatest risks due to CC, especially for the southern areas. Our survey showed that currently, even if access to water is limited in some areas, the need for irrigation is not felt as an urgency yet. In fact in all the WGZs only a low percentage of winegrowers having water access has irrigation on site and only a small number declares to consider having, implementing or modifying the irrigation system in the future. Climate changes are also expected to modify the distribution and severity of pests and diseases. Current damages caused by pests and diseases are not high in Italy, and, accordingly, also a potential increase of pests and diseases yielded a medium-level future concern. In general, however, concerns related to climatic condition (climate change and unpredictable weather) have been found to be the main future worries for the Italian wine sector, in parallel to economic apprehensions (economic crisis and reduction of production profitability). Additionally, the negative effect of CC is already highly perceived by more than half of the farmers and wineries surveyed, but the long-term vision appeared definitely worse. In this study important signals of adaptation already in place emerged. A high percentage of farmers switched from traditional to pest and drought resistant varieties, although the choice of marketable varieties prevailed. Likewise, the prevalence of water-saving irrigation methods, such as drip irrigation or sub-surface irrigation, compared to the traditional one, is indicative of the farmers' commitment in water use efficiency. An evident implementation of cultural practices recognized as environment friendly and climate-smart, such as row cover cropping, late shoot topping, leaf removal, use of anti-transpirants, also emerged as an important sign of adaptation of the wine sector. The increase of the adoption of management practices that contribute to reducing sugar accumulation, reflects the wine producers' perception of a modification in wine characteristics, particularly regarding an increase of alcohol content and a change of the aromatic profile. Conversely, the risk associated with a scarce use of insurance as a tool for fostering adaptation to climate change, as revealed by the survey, should not be overlooked.

Acknowledgements

This study was carried out in the framework of project MEDCLIV, co-funded by EIT Climate-KIC.

References

- Alikadić A., Pertot I., Eccel E., Dolci C., Zarbo C., Caffarra A., De Filippi R., Furlanello C., 2019. The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: A regional study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 271: 73–82.
- Battaglini A., Barbeau G., Bindi M., Badeck F.W., 2009. European winegrowers' perceptions of climate change impact and options for adaptation. *Reg. Environ. Change*, 9: 61–73.
- Eccel E., Zollo A.L., Mercogliano P., Zorer R., 2016. Simulations of quantitative shift in bio-climatic indices in the viticultural areas of Trentino (Italian Alps) by an open source R package. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127: 2–100.
- European Commission, 2019. EIP- AGRI Focus group, diseases and pest in viticulture, Final Report.
- Fraga H., Malheiro A. C., Moutinho-Pereira J., Santos J. A., 2013. Future scenarios for viticultural zoning in Europe: ensemble projections and uncertainties. *Int. J. Biometeorol*, 57: 909–925.
- Iglesias A., Garrote L., 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management*, 155: 113–124.
- Jones G. V., White M. A., Cooper O. R., Storchmann K., 2005. Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73: 319–343.
- Moriondo M., Jones G. V., Bois B., Dibari C., Ferrise R., Trombi G., Bindi M., 2013. Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climatic Change*, 119: 825–839.
- Palliotti A., Panara F., Famiani F., Sabbatini P., Howell S.G., Silvestroni O., Poni S., 2013. Postveraison Application of Antitranspirant Di-1-p-Menthene to Control Sugar Accumulation in Sangiovese Grapevines. *Am. J. Enol. Vitic*, 64: 378-385.
- Petrie P.R. Through M.C.T., Howell G.S., Bushan G.D., 2003. The effect of leaf removal and canopy height on whole-vine gas exchange and fruit development of *Vitis vinifera* L. Sauvignon Blanc. *Functional Plant Biology*, 30: 711–717.
- Santillán, D., Sotés V., Iglesias A., Garrote L., 2019. Adapting viticulture to climate change in the Mediterranean region: Evaluations accounting for spatial differences in the producers-climate interactions. *BIO Web of Conferences* 12, Pp1-4.
- Santos J.A., Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J., Dinis L.T., Correia C., Moriondo M., Leolini L., Dibari C., Costafreda-Aumedes S., Kartschall T., Menz C., Molitor D., Junk J., Beyer M., Schultz H.R., 2020. A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture. *Appl. Sci.* 10, 3092.
- Van Leeuwen C., Destrac-Irvine A., 2017. Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *OENO One*, 51 (2): 147-154.

PRODUZIONE DI MAPPE METEO-CLIMATICHE DELLA BASILICATA PER IL POTENZIAMENTO DEI SERVIZI ALL'AGRICOLTURA: ANALISI PRELIMINARE DELLA RETE AGROMETEOROLOGICA REGIONALE

PRODUCTION OF WEATHER AND CLIMATIC MAPS OF BASILICATA FOR THE ENHANCEMENT OF AGRICULTURAL SERVICES: PRELIMINARY ANALYSIS OF THE REGIONAL AGROMETEOROLOGICAL NETWORK

Maria Lanfredi^{1*}, Rosa Coluzzi¹, Vito Imbrenda¹, Emanuele Scalcione²

¹ Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale IMAA-CNR, Tito (PZ), Italy.

² Agenzia Lucana di Sviluppo e Innovazione in Agricoltura, Matera, Italy.

*maria.lanfredi@imaa.cnr.it

Abstract

Questo lavoro descrive le analisi preliminari svolte all'interno di un progetto per la spazializzazione di dati meteo-climatici rilevati dalla rete agrometeorologica della Basilicata. Tale analisi verte principalmente sullo studio del dataset disponibile per valutare la rappresentatività territoriale delle singole stazioni della rete ed individuare eventuali stazioni anomale (outliers) da trattare separatamente in maniera opportuna. L'analisi in cluster dei dati mensili stimati su vent'anni di osservazioni mostrano evidenti raggruppamenti prevalentemente determinati dalla struttura orografica della regione e due stazioni con dati anomali per la temperatura minima (Nova Siri) e per il regime pluviometrico (Nemoli). In entrambi i casi, le caratteristiche climatiche anomale necessitano di un'analisi di dettaglio per poter mettere a punto opportuni modelli deterministico-stocastici utili per la spazializzazione dei dati ed il miglioramento del servizio agrometeorologico della regione.

Parole chiave

Caratterizzazione agroclimatica, Modelli deterministico-stocastici, Clustering.

Keywords

Agroclimatic characterization, Deterministic-stochastic models, Cluster Analysis.

Introduzione

Il lavoro qui presentato descrive un'analisi preliminare della rete agrometeorologica della Basilicata finalizzato alla produzione di mappe meteo-climatiche per l'agricoltura. Esso si inserisce in un progetto per il potenziamento del servizio agrometeorologico dell'ALSIA (Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura) avviato nel 2020. Tale progetto, che vede coinvolto l'Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), prevede lo studio della variabilità spaziale e l'interpolazione dei dati rilevati dal Servizio Agrometeorologico Lucano per produrre mappe tematiche giornaliere, mensili e annuali dei principali parametri agrometeorologici. Tali mappe tematiche verranno pubblicate e inviate su piattaforme web e/o informatiche che utilizzano modellistica agrometeorologica e fitosanitaria. L'accordo ALSIA-IMAA prevede anche la produzione di un algoritmo per il controllo della qualità dei dati agrometeorologici e la ricostruzione dei dati mancanti, applicando la metodologia prevista dal manuale dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) "Linee guida per il controllo di validità dei dati idro-meteorologici". La caratterizzazione del clima su scale spaziali relativamente ampie, ottenuta dall'analisi di dati

forniti da reti meteorologiche, è generalmente facilitata dal fatto che la variabilità e la non-stazionarietà spaziale di dettaglio sono ridotte quando le variabili sono mediate su vaste aree. In tal caso, sono spesso soddisfatte le principali ipotesi alla base delle più diffuse tecniche di interpolazione spaziale (e.g., Kriging; Cressie, 1993), le quali assumono che i trend possano essere efficacemente rimossi e che la variabilità residua sia sostanzialmente casuale.

I fenomeni di interesse nella caratterizzazione agroclimatica di un territorio coprono invece un ampio range di scale spaziali ed includono livelli di dettaglio di centinaia e decine di metri (Yoshino, 2005; Geiger et al., 2012). A piccola scala, il clima è influenzato dal tipo e dalle proprietà della superficie, dall'esposizione, dalle diverse condizioni morfologiche del terreno e dalle proprietà del suolo e della copertura vegetale. Due stazioni, anche poste a piccola distanza, possono misurare valori molto differenti e le non-stazionarietà non sono solo quelle dovute a variazioni di lungo range ma spesso appaiono come discontinuità di carattere locale. L'utilizzo di tali dati "anomali" all'interno, ad esempio, di polinomi interpolatori, può costituire fonte di incertezza nelle stime dei valori delle variabili meteorologiche in aree contigue. In accordo con questa

premissa, il piano di lavoro prevede un'analisi preliminare del dataset disponibile per valutare la rappresentatività territoriale delle singole stazioni della rete ed individuare eventuali stazioni anomale (outliers) da trattare separatamente in maniera opportuna.

Materiali e Metodi

L'area di studio

Le dimensioni della Basilicata sono di circa $1^0 \times 1^0$ e la variabilità climatica spaziale è poco influenzata dalla latitudine e dalla longitudine. Secondo la classificazione Köppen-Geiger (Fig. 1), la maggior parte della regione è caratterizzata da clima temperato con estate secca (Csa e Csb) con estese zone di tipo steppico (Bsk) ed alcune isolate aree montane ricadenti nel clima freddo (Dsb e Dsb).

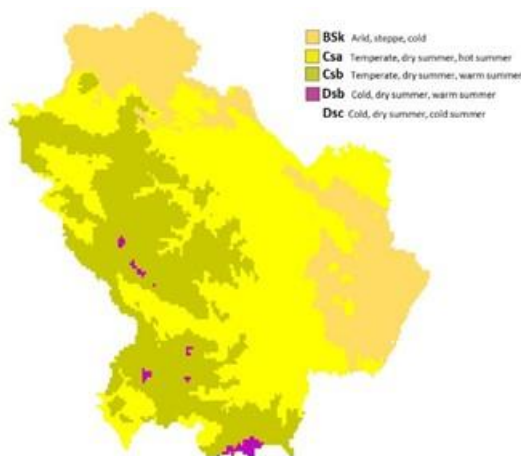


Fig. 1. Mappa climatica della Basilicata secondo la classificazione Köppen-Geiger.

Fig.1. Köppen-Geiger climate zones in Basilicata.

L'elemento che maggiormente contraddistingue il clima della Basilicata è l'orografia (Fig. 2), che separa nettamente la parte montuosa ad ovest, più piovosa e fredda, da quella ad est, più secca e calda, che non ha protezione appenninica e risente dell'influsso del mar Adriatico.

Complessivamente, il clima della regione può essere definito continentale, con caratteri mediterranei solo nelle aree costiere. Se ci si addentra già di qualche chilometro nell'interno, specie in inverno, la mitezza del clima marino cede il passo ad un clima più rigido. Tra le zone a ridosso delle coste si possono individuare la pianura ionica del Metapontino, con inverni miti e piovosi ed estati calde e secche, ma abbastanza ventilate; e la costa tirrenica, dove, in inverno, la temperatura è leggermente più elevata e in estate è leggermente più fresca con umidità mediamente più accentuata. Sulla collina materana, gli inverni sono freddi e nebbiosi già a partire dai 300-400 metri. Qui la neve può fare la sua comparsa da novembre a marzo inoltrato. Anche

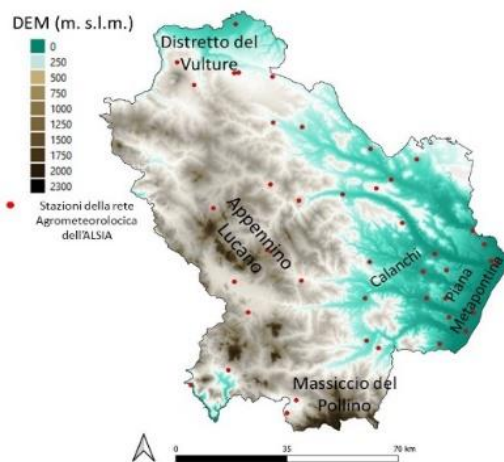


Fig. 2. Modello digitale di elevazione della Basilicata e stazioni della rete agrometeorologica dell'ALSIA.

Fig. 2. Digital Elevation Model of Basilicata and the ALSIA's agrometeorological network.

qui le estati sono calde e secche, con escursioni termiche giornaliere abbastanza elevate. Nell'area di montagna appenninica, che corrisponde ai 7/10 del territorio regionale, gli inverni risultano molto freddi, soprattutto oltre i 1000 metri di quota, dove la neve al suolo rimane fino a metà primavera, ma può persistere fino alla fine di maggio sui rilievi principali. In questo scenario si distinguono anche aree sub-umide, semi-secche e secche (e.g., l'area calanchiva) e zone dove si evidenziano fenomeni di land degradation di differente intensità (Lanfredi et al., 2015a).

L'area centro-orientale della regione è quella a più alta vocazione agricola ed è in quest'area che le stazioni della rete dell'ALSIA sono prevalentemente situate. Per ottenere una copertura più completa della regione e studiare nel dettaglio l'andamento delle variabili di interesse anche in aree impervie non si esclude comunque l'integrazione con i dati rilevati dal Servizio Idrografico e Mareografico della Basilicata.

I dati dell'Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura

L'ALSIA è un ente strumentale della Regione Basilicata per la ricerca ed il trasferimento delle innovazioni in agricoltura e nell'agroalimentare. Il SAL (Servizio Agrometeorologico Lucano) conta su una rete di 44 stazioni elettroniche. Le colture che caratterizzano le aree in cui si trovano le stazioni sono

molto eterogenee (oliveti, agrumeti, erbacee, ortive, etc.) e comprendono zone irrigue e non. Anche qualche area incolta è presente nella rete. Il servizio che da qualche mese consente la consultazione online della banca dati agrometeorologica settimanalmente elabora bollettini che descrivono l'andamento dei principali parametri climatici

rilevati nei diversi comprensori lucani e le loro ripercussioni sulle colture agrarie.

Metodi

La Cluster Analysis comprende un insieme di tecniche statistiche atte ad individuare gruppi di unità tra loro simili rispetto ad un insieme di caratteristiche prestabilite e secondo uno specifico criterio di similarità. L'obiettivo è raggruppare unità tra loro eterogenee in più sottoinsiemi tendenzialmente omogenei. Le unità statistiche vengono, in altri termini, suddivise in un certo numero di gruppi a seconda del loro livello di "somiglianza" valutata a partire dai valori che una serie di variabili prescelte assume in ciascuna unità.

In questo caso, la tecnica ha un ruolo esplorativo di ricerca di strutture latenti, al fine di desumere la partizione più probabile. In questo lavoro è stato utilizzato un algoritmo di clustering gerarchico, il cui risultato è una serie di partizioni innestate (un "dendrogramma"), che mira ad evidenziare le relazioni di similarità tra i vari pattern del dataset organizzandoli gerarchicamente in accordo con una metrica opportunamente definita per misurare la distanza tra i cluster (Witten et al., 2005).

Nella classificazione gerarchica l'obiettivo è quello di produrre una serie di raggruppamenti gerarchici annidati avente alla base i punti individuali, fino ad arrivare ad un cluster globale all-inclusive.

I parametri caratterizzanti associati alle stazioni sono i dodici valori medi mensili di temperatura (media e minima), precipitazioni e umidità relativa. Tali curve annuali sono state considerate separatamente dal momento che le stazioni possono essere più o meno simili a seconda delle differenti variabili climatiche considerate. Come misura di similarità è stata utilizzata la distanza euclidea tra le curve annuali, separatamente per ciascuna variabile.

Un vantaggio molto importante di questo approccio al clustering è di non assumere nessun numero particolare di cluster, ma se ne otterrà il numero desiderato semplicemente "tagliando" il dendrogramma ad un livello opportuno.

Risultati

L'orografia è indubbiamente la maggiore sorgente di eterogeneità nel clima della Basilicata, specialmente per quel che riguarda la temperatura, che è la variabile più continua a larga scala. Un semplice modello regressivo (e.g., Lanfredi et al., 2015b), con la quota come variabile indipendente, permette già di ottenere stime che spiegano larga parte della varianza spaziale

Ad esempio, la stima della temperatura media di Gennaio (Fig. 3) ottenuta a partire da un dataset di 20 anni (2000-2019) restituisce stime con un errore quadratico medio di

circa $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, calcolato utilizzando la tecnica di *cross validation* (Witten et al., 2005). A partire da questa approssimazione, che rende conto di gran parte della variabilità strutturale della temperatura nella regione, è possibile ipotizzare un ulteriore miglioramento della stima interpolando i residui con un metodo geostatistico quale il Kriging.

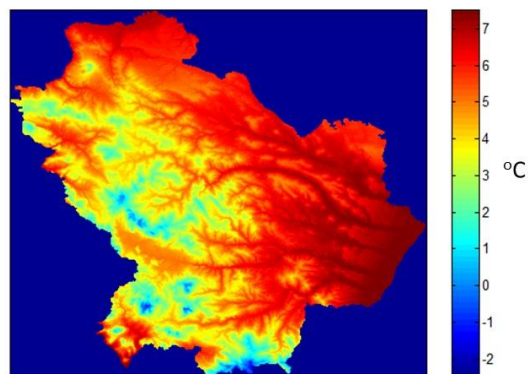


Fig. 3. Valori di temperatura media mensile (Gennaio) ottenuti con un modello regressivo sulla quota.

Fig. 3. Monthly mean temperature (January) estimated by an autoregressive model with elevation as independent variable.

A titolo di esempio, Fig. 4 riporta il dendrogramma ottenuto per il ciclo annuale della temperatura minima mensile, parametro particolarmente interessante per l'agrometeorologia. Nella Fig. 4 è chiaramente visibile una struttura di correlazione che raggruppa le stazioni in diversi cluster, differenziando in particolare le stazioni della fascia ionica, che risultano essere molto simili tra di loro e si legano nella parte bassa delle ascisse. Il risultato più interessante per quel che riguarda la ricerca di outlier riguarda la stazione di Nova Siri, per la quale il ciclo annuale è estremamente distante da quelli delle altre, anche da quelle geograficamente più vicine.

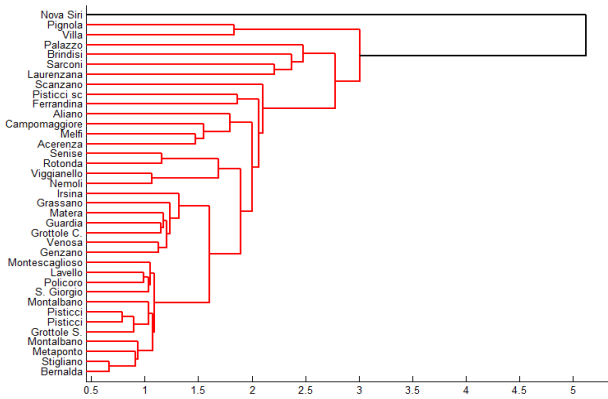


Fig. 4. Esempio di dendrogramma per la temperatura minima mensile. In ascisse è riportata la distanza euclidea tra le curve annuali normalizzate per i differenti cluster.
 Fig. 4. Example of a dendrogram for the monthly minimum temperature. The Euclidean distance between the annual curves normalized for the different clusters is shown on the abscissa.

Questo è esattamente il tipo di risultato atteso per le stazioni “singolari”, le cui proprietà differiscono significativamente da tutte le altre. La stessa Cluster Analysis, effettuata per l’umidità relativa mensile (Fig. 5) mette in evidenza una correlazione più strutturata che porta in ogni caso all’individuazione di una stazione, Nemoli, poco correlata a tutte le altre. La stessa analisi ripetuta per le medie mensili di temperatura, per la pioggia e l’umidità relativa mensile porta ad individuare stazioni con condizioni estreme (vedi Fig. 6). Nel caso della temperatura media (Fig. 6a) i valori particolarmente bassi registrati a Laurenzana sono verosimilmente legati all’orografica. La stazione è situata a 930m s.l.m. e di conseguenza l’anomalia è probabilmente rimovibile utilizzando un modello interpolativo che elimini preventivamente l’effetto della quota.

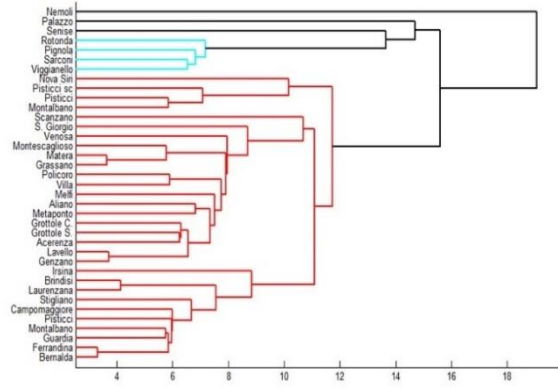


Fig. 5. Esempio di dendrogramma per l’umidità media mensile. In ascisse è riportata la distanza euclidea tra le curve annuali normalizzate per i differenti cluster.
 Fig. 5. Example of a dendrogram for the monthly relative humidity. The Euclidean distance between the annual curves normalized for the different clusters is shown on the abscissa.

La Fig. 6b mostra le curve ottenute per le temperature minime mensili in cui si notano le temperature di Nova Siri, che sono particolarmente alte. In questo caso, la quota non è utile per spiegare la situazione in quanto la stazione, situata a 159 m.s.l., è più calda di stazioni situate addirittura a livello del mare. E’, comunque, interessante notare che in entrambi i casi riguardanti la temperatura, la differenza consiste essenzialmente in un fattore additivo poiché le differenti curve sono parallele in buona approssimazione.

Il discorso è differente per le piogge e l’umidità relativa (Figg. 6c e 6d). In entrambi i casi la stazione anomala è quella di Nemoli, sull’Appennino Lucano, che risulta la più piovosa ed umida di tutta la rete. La curva delle piogge (Fig. 6c) mostra una differenza interstagionale molto alta con la stagione asciutta che presenta livelli di pioggia paragonabili a quelli registrati nelle altre stazioni durante la stagione piovosa. Nel caso dell’umidità, la curva annuale è completamente differente, con due minimi relativi all’anno mentre le altre mostrano un andamento che sostanzialmente segue quello delle piogge.

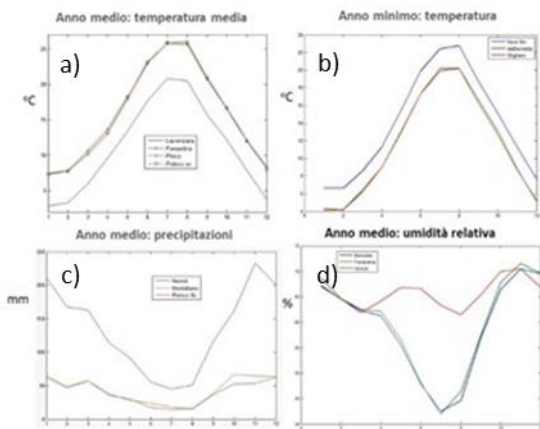


Fig. 6. Curve annuali caratteristiche per: a) temperatura media mensile; b) temperatura minima mensile; c) piogge medie mensili; d) umidità relativa mensile.

Fig. 6. Characteristic annual curves for: a) monthly average temperature; b) monthly minimum temperature; c) monthly rainfall; and d) monthly relative humidity.

Discussione e Conclusioni

L'analisi in cluster presentata in questo lavoro ha evidenziato le stazioni della rete agrometeorologica della Basilicata che presentano caratteristiche estreme per quel che riguarda i valori medi e minimi di temperatura mensile e i valori medi di pioggia e umidità. Per quel che riguarda la temperatura media mensile, l'anomalia individuata in Laurenzana sembra facilmente rimovibile rimuovendo l'effetto della quota. Diversamente, per quel che concerne le temperature minime, l'anomalia non sembra facilmente rimovibile. Le temperature minime registrate dalla stazione di Nova Siri sono infatti maggiori di quelle registrate in aree vicine a livello del mare. La particolare esposizione di questa stazione, che è situata in un'area molto aperta, è verosimilmente la causa di questa peculiarità. In questo caso, così come per la stazione di Nemoli che è anomala sia per la pioggia media mensile che per l'umidità relativa, condizioni locali non banali sembrano essere all'origine della statistica peculiare. Sulla base di questa analisi preliminare, che è ancora in corso, si intende approfondire il problema dell'introduzione di fattori morfologici e topografici per rendere conto di outlier statistici nelle osservazioni della rete agrometeorologica mediante modelli deterministici. Tale rappresentazione è fondamentale per rimuovere potenziali effetti di disturbo nella fase di interpolazione dei dati mediante tecniche stocastiche (geostatistiche).

Bibliografia

- Cressie N. A. C., 1993, *Statistics for Spatial Data*, Wiley Series in Probability and Statistics
- Geiger R., Aron R. H., Todhunter P., 2012, *The Climate Near the Ground*, Springer, 528 pp
- Lanfredi M., Coppola R., Simoniello T., Coluzzi R., D'Emilio M., Imbrenda V., Macchiato M., 2015a. Early Identification of Land Degradation Hotspots in Complex Bio-Geographic Regions, *Remote Sensing*, 7 (6): 8154-8179
- Lanfredi M., Coppola R., D'Emilio M., Imbrenda V., Macchiato M., Simoniello T., 2015b. A geostatistics-assisted approach to the deterministic approximation of climate data. *Environmental Modelling & Software*, 66: 69-77
- Witten Ian H., Frank, Eibe, Hall, Mark A., 2005, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Elsevier
- Yoshino M., 2005. Local Climatology. In: Oliver J.E. (eds) *Encyclopedia of World Climatology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht.

DATI DI PRECIPITAZIONE DA STAZIONI METEO AMATORIALI PER L'AGRICOLTURA URBANA NELLA CITTÀ DI ROMA

MEASUREMENT RAINFALL DATA FROM PERSONAL WEATHER STATIONS FOR URBAN AGRICULTURE IN ROME

Filiberto Altobelli^{1*}, Andrea Cecilia², Gabriele Serafini³, Andrea Martelli¹, Anna Dalla Marta⁴

¹CREA– Research Centre for Agricultural Policies and Bioeconomy, via Po 14, 00195, Roma (RM)

²University of Rome Tor Vergata, ISAC-CNR Associate

³Meteolazio

⁴DAGRI – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università di Firenze, Piazzale delle Cascine 18 - 50144, Firenze

*filiberto.altobelli@crea.gov.it

Abstract

The availability of weather time series is crucial for several applications in agriculture, such as providing insights on the variability of yield's patterns, developing crop production scenarios, and assessing adaptation and mitigation strategies to better address climate change risks. For this reason, in the last few years meteorological services and databases have strongly developed at different time and spatial scales. Nevertheless, to the best of our knowledge, there is a few information available for urban areas, where the phenomenon of urban farming is rapidly increasing. In this work, we evaluated the potential of locally available meteorological data for supporting urban agriculture practices with a particular focus of rainfall. To this aim, a qualitative analysis of available agro-meteorological data was carried out for the urban area of Rome (Italy).

Parole chiave

Modelli culturali, serie storiche, agricoltura urbana, cambiamento climatico, irrigazione, stazioni meteo private

Keywords

Crop modelling, time series, climate change, citizen weather station, urban agriculture, irrigation, personal weather stations

Introduction

Precipitation measurement is a cornerstone of meteorological observations. Rainfall data is particularly useful for the agricultural sector, where it is used to manage crop operations and irrigation. As urban farming is a rather recent phenomenon in Italy, a reliable and continuous urban weather data measurement system is still missing.

In fact, the distribution and density of weather stations are variable and locally limited on the national territory. This lack may not adequately reflect the amount of rainfall distribution and occurrence in a given area.

Automatic Citizen Weather Stations (CWSs), also known as Personal Weather Stations (PWSs), provide spatially dense *in situ* measurements that are often collected and visualized in real time on online weather platforms and could be a valid support tool to fill this gap, especially in agricultural urban context (Altobelli *et al.* 2019).

However, while the spatial and temporal resolution of these data source is high, its rainfall observations are prone to typical errors, currently preventing its large-scale, real-time application (De Vos *et al.*, 2019; Simon Bell *et al.*, 2015).

The present study, starting from a previous experience (Altobelli *et al.* 2009) on exploring the use of weather

time series from PWSs in the city of Rome, for crop modeling applications in urban agriculture, aims at i) checking the quality of hourly rainfall data of Rome in the period April-October 2018; ii) investigating their possible application on a city scale; and iii) providing high-resolution city-wide rainfall maps, hence showing the great potential of personal weather stations for complementing existing often sparse traditional rain gauge networks.

Materials and Methods

The starting database, formerly the output of a robustness verification process reported in the previous study (Altobelli *et al.* 2019), contained the data – with maximum temporal resolution available – of 36 Wunderground PWSs. The only available metadata of these stations are the geographical coordinates, elevation, and instrument models; on the other hand nothing about their siting is known, and so their WMO-compliance is not guaranteed. Furthermore, these data have not undergone any validation process. Thus, it is evident the need to apply a filtering and selection process before being able to assess their potential applications. To this aim, the following procedure was applied:

1. Extraction of data for the period April-October 2018 and regularization to modulo 5 time bins.
2. Availability check.
3. Climatic filtering, allowing 5 minutes rainfall only within the interval [0,10] mm.
4. Creation of daily, monthly, and total summaries for each station.

The verification of the validity of these data was based on a comparison, in a statistical and a spatial analysis, with those recorded by the monitoring network of the Lazio Hydrographic Office (22 stations), taken as a reference, being registered by professional instruments and already validated as provided by the institution.

Before carrying out the statistical and spatial analyses, an additional filtering process was applied to PWSs data, eliminating out-of-range stations and spatially self-filtering the resulting rainfall distribution.

Results

The statistics of total rainfall in the study period recorded by the reference network (22 stations) shows an average cumulated rainfall of 482 mm with a standard deviation of 74 mm, and an interquartile range $[q1, q3] = [411, 608]$ mm. We therefore proceeded to eliminate the 15 stations reporting a total accumulation over the entire study period of less than $\bar{p}_r - 3\sigma_r = 260$ mm. In this way, the database was reduced to 21 stations (Figure 1). Next, a spatial filter was applied to the data for each month, removing monthly rainfalls that were outlier for the distribution of the 21 PWSs. Note that this needs no reference data and therefore is called self-filtering. This algorithm was applied in consideration of the fact that a station could record incorrect data in one month but not in another, for example, due to a mechanical obstruction of the rain gauge which was successively solved. Once operated this filter, the total rainfall in the study period statistical and spatial distribution can only be based on those stations that did not undergo any monthly data elimination, which amount to 9.

Statistical analysis

The statistical analysis was carried out using boxplot charts and a comparison of the temporal patterns of mean and standard deviation observed by the PWSs and the reference network. The boxplots (Fig) directly compare the two distributions, showing the median (red line), the interquartile range (limits of the boxes), the upper and lower not-outlier data (dashed lines), and outliers (red crosses). The notches on the boxes identify the 95% confidence interval of the medians: if two notches do not overlap, we can conclude that the two medians are not compatible with 95% confidence. It is evident that they always overlap, and so the medians are compatible for each month and totally.

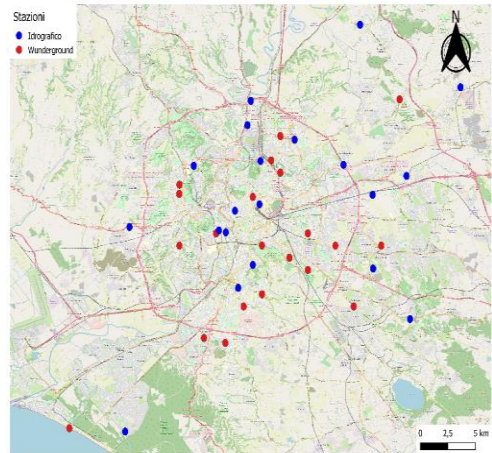


Fig. 1. localizzazione delle stazioni meteorologiche
Fig. 1. localization of the two networks weather stations.

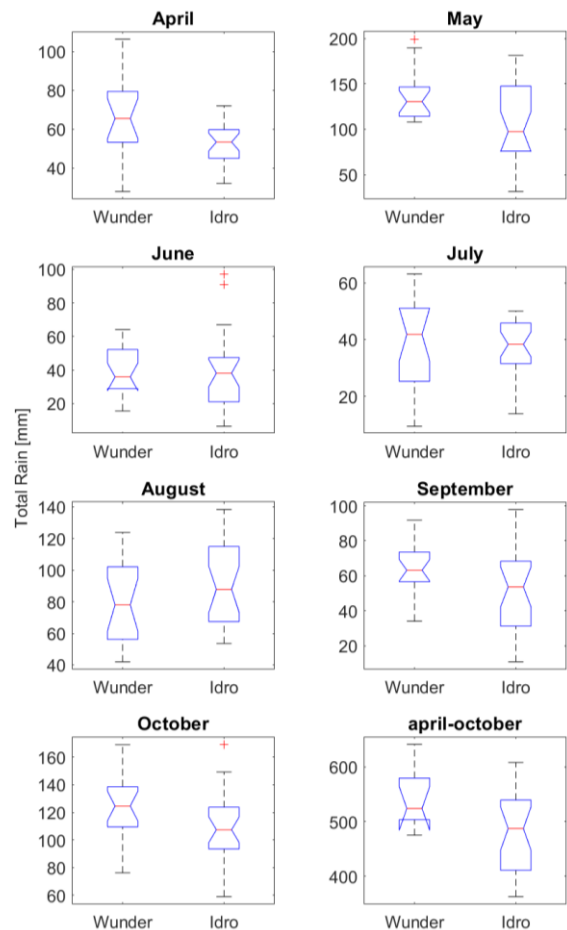


Fig. 2. boxplot dei confronti tra le due distribuzioni di precipitazione
Fig. 2. boxplot comparison of the two rainfall distributions.

The plot in Fig. 3 shows mean and standard deviation, as a function of month, for both the networks. For reference data, the standard deviations are reported as a blue band, while for the test data they are reported as error bars. It is clear also here the compatibility of the data, as the error bars always overlap with the blue bands.

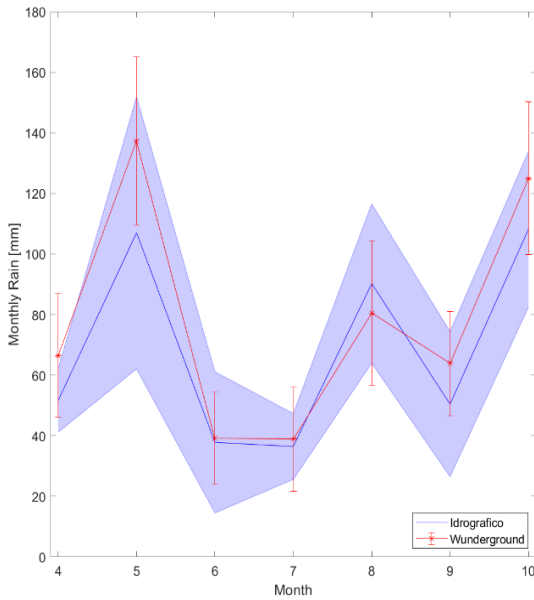


Fig. 3. andamento mensile di media e deviazione standard delle precipitazioni registrate dalle due reti.
 Fig. 3. monthly pattern of mean and standard deviation of the rainfall observed by the two networks.

Spatial analysis

The use of interpolated maps makes it possible to compare the spatial patterns of rainfall recorded by the two networks. Through NCAR Command Language (NCL) scripts, using the `natgrid`² function, interpolated regular grids were calculated for both networks, and their difference is showed in the contour charts reported in Figures 4-5. Figure 6 shows the percentage deviation N of PWSs total rainfall in the study period from the reference network, calculated as $N = 100(p - p_r)/p_r$, where p is the PWS grid point and p_r the reference one. The spatial distribution patterns of rainfall observed by the two networks are similar, even if it is shown a variability for high or low rainfall isolated spots in monthly data, as highlighted by Figures 4-5 that represent the interpolated grid rainfall difference. For total rainfall in the study period, we observe a general

light overestimate (meanly of 20.7%) with maximum percentage change of 54%, with respect to the reference data, in the south-west districts of Rome, as seen from Figure 6.

The statistical analysis shows data compatible with the reference data both as regards the means and the medians. The interpolated maps reveal similar spatial patterns, with a general light overestimate, meanly of 20.7% in the whole study period, except for the south-west districts of Rome, where an overestimation of up to 54% is observed.

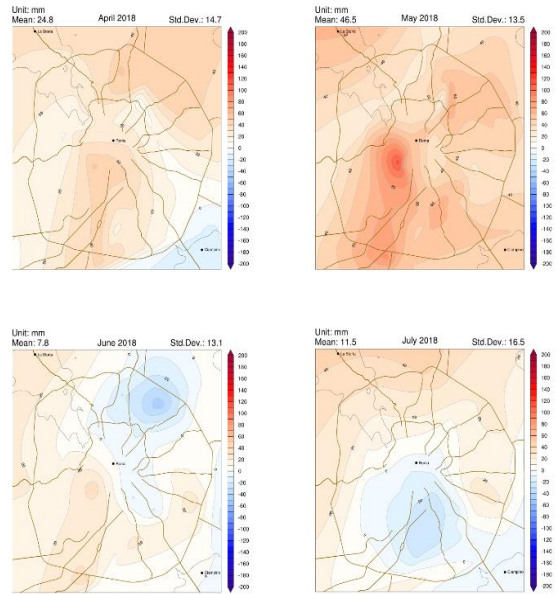


Fig. 4. differenza di pioggia mensile interpolata (aprile - luglio, 2018).
 Fig. 4. interpolated monthly rainfall difference (April-July, 2018).

² The `natgrid` function allows to calculate, taking in input a randomly spaced grid, a regular grid using natural neighbor interpolation.

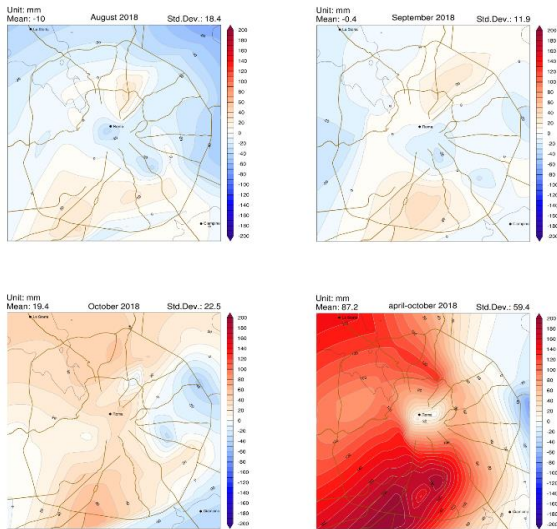


Fig. 5. differenza di pioggia mensile interpolata (agosto - ottobre e totale, 2018).

Fig. 5. interpolated monthly rainfall difference (August-October and total, 2018).

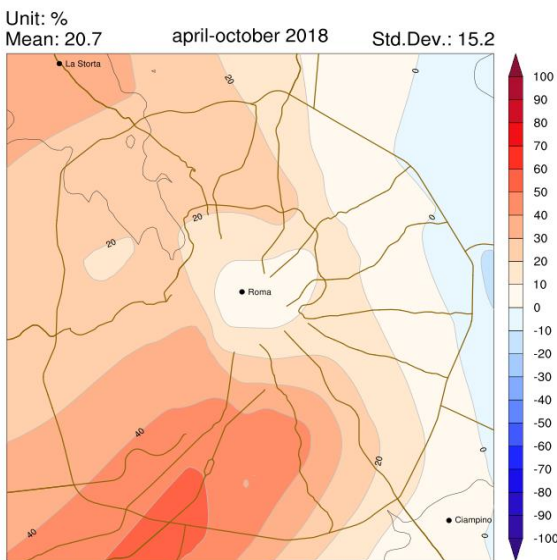


Fig. 6. deviazione percentuale di precipitazioni totali rispetto alla rete di riferimento.

Fig. 6. total rainfall percentage deviation with respect to the reference network.

Conclusions

Based on the statistical analysis and the interpolated maps, it can be concluded that the amateur and open-source rainfall data, freely downloadable from Wunderground, if opportunely filtered, can be considered a valid support for agrometeorological studies in the period April-October 2018 and in the Rome area.

References

- Altobelli F., Lupia F., Cirone F., Gabrieli G., Namdarian I., Vassallo M., Dalla Marta A., 2019. 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. 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.
- 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-weatherdata-downloader>

PROGETTO “SERIA” - SERVIZI OPERATIVI INNOVATIVI PER L’APPLICAZIONE DELLE TECNICHE DI PRODUZIONE AGRICOLA INTEGRATA E BIOLOGICA

“SERIA” PROJECT - INNOVATIVE OPERATIONAL SERVICES FOR THE APPLICATION OF INTEGRATED AND ORGANIC AGRICULTURAL PRODUCTION TECHNIQUES

Federico Spanna^{1*}, Tiziana La Iacona¹, Giovanna Cressano¹, Irene Vercellino², Laura Alemanno², Mattia Rusco², Massimo De Marziis², Lorenzo Berra³, Matteo Bontà³, Francesca Pettiti³, Forni Emanuela Gaia³ Simone Falzoi⁴

¹ Regione Piemonte – Settore Fitosanitario e Servizi Tecnico Scientifici

² 3A S.r.l.

³ Agrion - Fondazione per la ricerca, l'innovazione e lo sviluppo tecnologico dell'agricoltura piemontese

⁴ AIAM – Associazione Italiana di Agrometeorologia

*federico.spanna@regione.piemonte.it

Abstract

The Phytosanitary and Technical-Scientific Service of Regione Piemonte in collaboration with the Agrion Foundation and the 3A Srl is carrying on the SERIA project, an integrated system composed by technical-scientific operational services, to support the integrated and biological productions, in order to provide decision support tools based on a multidisciplinary approach. The system is based on a series of field monitoring points in which all agrometeorological and phytopathological agronomic, phytopathological surveys are carried out for the main agricultural crops of the region. An informatic platform and modern decision support modeling systems are used for data archiving and service processing. Moreover, periodic coordination meetings between technical staff are organized, and information dissemination activities are carried on with the production and the web publication of specific bulletins.

Parole chiave

Servizi agrometeorologici, modelli fitopatologici, produzione integrata, difesa integrata, sistemi di supporto alle decisioni

Keywords

Agrometeorological services, phytopathological models, integrated crop management, integrated pest management, decision support systems

Introduzione

L'applicazione delle strategie di coltivazione di tipo integrato, biologico e conservativo rende necessario da parte degli agricoltori, disporre ed utilizzare informazioni tecnico-operative, basilari per poter programmare ed orientare le decisioni relativamente alle migliori tecniche da adottare in un determinato momento della stagione al fine di ottenere il miglior risultato produttivo nel rispetto della razionalizzazione dell'impiego delle risorse disponibili.

Attualmente le tecniche di produzione integrata vengono applicate da parte delle aziende aderenti alle relative misure PSR nel rispetto delle Norme tecniche di produzione integrata. Contestualmente anche gli aspetti di base della difesa integrata definiti dal PAN vengono soddisfatti applicando quanto scritto nelle norme tecniche. Tuttavia in molti casi il sistema può e deve essere migliorato in termini di servizi erogabili e di organizzazione del trasferimento di informazioni. Ne discende quindi la necessità di sviluppare ed applicare nuovi servizi tecnico-scientifici ed organizzare il sistema di diffusione delle informazioni in modo da fornire un servizio

unitario su base regionale. La Regione Piemonte - Settore Fitosanitario e Servizi tecnico-scientifici ha attivato un sistema in grado di garantire una serie di servizi operativi tecnico-scientifici a supporto delle produzioni integrate e biologiche, al fine di fornire strumenti di supporto alle decisioni basati su un approccio multidisciplinare.

Materiali e Metodi

Il modello organizzativo si articola nelle seguenti attività:

- 1) Rilevamento automatico delle misure meteorologiche
- 2) Osservazione in campo della fenologia e delle avversità biotiche ed abiotiche in 5 siti sperimentali ed in 50 aziende pilota, relativamente alle principali colture piemontesi
- 3) Inserimento dei dati meteo e di campo su piattaforma cloud e loro elaborazione
- 4) Applicazione dei modelli agrometeorologici e fitopatologici
- 5) Valutazione ed elaborazione dei dati da parte dello staff tecnico

- 6) Elaborazione di bollettini agronomici, fitosanitari ed agrometeorologici
- 7) Divulgazione delle informazioni con aggiornamento di un apposito sito virtuale
- 8) Supporto continuo alla comunità rurale attraverso lo sportello informativo
- 9) Attività divulgative e dimostrative on-farm

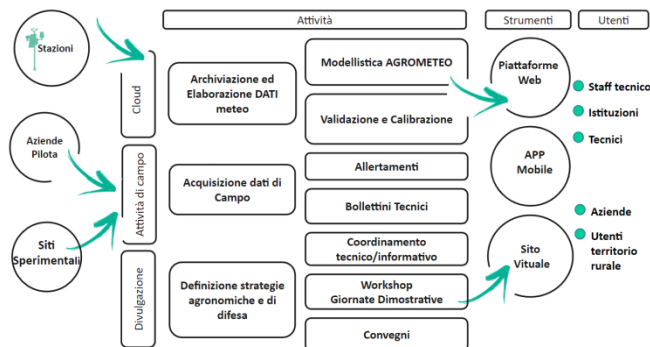


Fig.1. Schema di funzionamento del progetto SERIA

Fig.1. Operational diagram of the SERIA project

Le colture individuate sono le seguenti:

Fruttiferi: actinidia, albicocco, ciliegio, melo, pero, pesco, susino, vite.

Orticole: patata e pomodoro

Cereali: frumento, orzo, mais, riso

La piattaforma informatica consente di:

- 1) Registrare, archiviare, visualizzare ed elaborare i monitoraggi delle colture agrarie scelte utilizzando sia postazioni fisse che apparati mobili;
- 2) presentare flessibilità nell'aggiornamento delle schede di rilievo agronomico e fitopatologico in modo da consentire sempre il monitoraggio delle colture anche al presentarsi di nuove situazioni;
- 3) creare e gestire i dati dei punti di monitoraggio attraverso un'applicazione per dispositivi mobili ed applicazione web;
- 4) produrre e inviare bollettini e relativa divulgazione attraverso la piattaforma;
- 5) acquisire, archiviare, visualizzare ed elaborare i dati relativi alle misure agrometeorologiche rilevate dalla Rete Agrometeorologica regionale sia storici sia in tempo reale, acquisiti sia da stazioni di proprietà regionale sia da altre stazioni di monitoraggio rispondenti ai requisiti richiesti dal SFR. I modelli matematici previsionali di tipo fitopatologico ed entomologico previsti per la simulazione dello sviluppo di patogeni sono elencati nella tabella n. 1.

Tab. 1. Modelli fitopatologici ed entomologici utilizzati per la simulazione dello sviluppo delle avversità biotiche.

Tab. 1. Phytopathological and entomological models used to simulate the development of biotic adversities.

COLTURA	AVVERSITA'
MELO	Carpocapsa pomonella, Pandemis cerasana, Argyrotaenia pulchellana, Venturia inaequalis
PESCO	Cydia molesta, Anarsia lineatella, Tripidi del pesco
VITE	Lobesia botrana, Plasmopara viticola, Uncinula necator, Scaphoideus titanus
PATATA	Phytophthora infestans
POMODORO	Phytophthora infestans
RISO	Pyricularia oryzae

Per quanto riguarda la Peronospora di patata e pomodoro (*Phytophthora infestans*) e peronospora della vite vengono impiegati modelli della Gplanet (indicati come @Gplanet) per le altre avversità le piattaforme utilizzate sono: **Agreen Service** (@AGreen service) per la simulazione dello sviluppo di *Carpocapsa Pomonella*, *Pandemis Cerasana*, *Argyrotaenia pulchellana*, *Cydia molesta*, *Anarsia lineatella*, *Tripidi del pesco* e *Lobesia botrana*; **Horta** (@Horta) per la simulazione di *Plasmopara viticola* e *Uncinula necator*, *Scaphoideus titanius*, *Lobesia Botrana*; **RIMpro** (@Rimpro) per la simulazione di *Venturia inaequalis*.

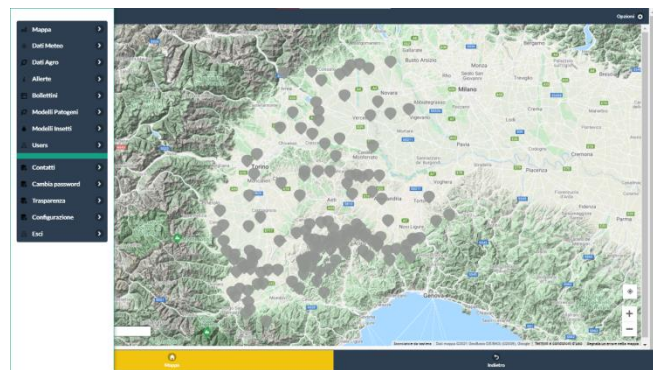


Fig. 2. La piattaforma della Regione Piemonte – mappa stazioni meteo e rilievi disponibili

Fig. 2. Regione Piedmont DSS- map of weather stations and available surveys

Un ulteriore servizio riguarda la formulazione di bilanci idrici dei terreni agrari concatenati giornalieri personalizzati riferiti alle colture considerate ed elaborati a scala di appezzamento. Per questo servizio è stata adottata la piattaforma IRRIFRAME realizzata da ANBI (Associazione Nazionale Consorzi di gestione e tutela del territorio e acque irrigue www.anbi.it) con il coordinamento tecnico-agronomico del Consorzio per il Canale Emiliano Romagnolo, basandosi su servizi informatici e telematici sviluppati e gestiti dal CER dal 1984 e attualmente distribuita da AGRONICA Group di Cesena (www.agronica.it). Il modello Irriframe è stato adottato dal Ministero dell'Agricoltura (MIPAAF) come strumento di riferimento per la determinazione dei fabbisogni irrigui di distretto nell'ambito delle "Linee guida per la regolamentazione da parte delle Regioni delle modalità di quantificazione dei volumi idrici ad uso irriguo" (D.M. 31/7/2015).

La piattaforma operativa adottata fornisce un servizio web based ad aggiornamento giornaliero per orientare gli utenti agricoli nella corretta gestione delle pratiche irrigue per le principali colture erbacee e arboree.

Risultati e Discussione

Il sistema predisposto consente la pubblicazione giornaliera od oraria di dati agrometeorologici rilevati dalle 140 stazioni della Rete Agrometeorologica regionale distribuite sul territorio agricolo. A partire dai dati grezzi vengono inoltre forniti dati climatici e bioclimatici di prima elaborazione, sia sotto forma numerica che grafica.

I dati di tipo fenologico e colturale derivano dai rilievi di campo effettuati su un numero complessivo di 50 aziende, vengono caricati in piattaforma una volta alla settimana da tecnici incaricati e sono resi disponibili a tutti i soggetti coinvolti nel progetto.

Anche i dati provenienti dalle 5 aziende sperimentali vengono inseriti in piattaforma e resi disponibili. Il personale responsabile di queste aziende costituisce anche il coordinatore dei tecnici operanti sul territorio e, nel corso della stagione vegetativa, gestisce settimanalmente (solo per il settore cerealicolo la cadenza è quindicinale) le riunioni tecniche con il personale operante presso le 50 aziende pilota. A seguito di questi momenti di coordinamento, vengono prodotti i bollettini suddivisi per filiera produttiva nei quali vengono descritte le situazioni meteorologiche e fitosanitarie e vengono riportati i consigli tecnici operativi di gestione colturale futura. Questi bollettini sono resi disponibili sul web regionale e sono consultabili e utilizzabili da tutti.

Sono a disposizione del personale tecnico del progetto i risultati grafici o numerici delle applicazioni modellistiche adottate.

Ad alcuni modelli sono già applicati anche dati meteorologici previsionali che danno la possibilità di effettuare proiezioni della dinamica epidemiologica di alcune avversità garantendo quindi una miglior capacità di programmazione degli interventi. Si tratta pur sempre di

previsioni di scenario per cui, per queste, è richiesta ancora un'attenta fase di validazione a scala territoriale.

Conclusioni

Il sistema predisposto si presenta quindi come un supporto conoscitivo ed operativo di grande utilità pratica in quanto può potenzialmente raggiungere tutte le aziende agricole ed il personale tecnico operante in agricoltura. E' quindi in grado di rispondere alle esigenze del comparto legato all'assistenza tecnica in agricoltura secondo quanto previsto dalle normative vigenti. Essendo un sistema modulare, si presta molto bene ad una crescita futura sia in termini di nuovi contenuti e servizi inseribili in questo contesto, sia in termini di rappresentatività territoriale. È auspicabile inoltre che vi possa essere un progressivo ampliamento del database di rilievi, del numero di tecnici che potranno fornire un proprio contributo alla crescita del sistema, e del numero di utilizzatori. In particolare la traduzione in servizi di nuovi sistemi di supporto alle decisioni predisposti dal mondo della ricerca, la previsionale meteorologica a medio termine, e l'elaborazione di nuovi contenuti agronomici ed agrometeorologici saranno elementi che renderanno sempre più centrale nella gestione delle moderne tecniche di coltivazione.



Fig. 3. Il servizio web - La bacheca dei Bollettini (<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/agricoltura/servi-zi-fitosanitari-pan>)

Fig. 3. The web service "La bacheca dei Bollettini" (<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/agricoltura/servi-zi-fitosanitari-pan>)

Bibliografia

- Bugiani R., Cavanni P. and Ponti I., 1993. An advisory service for the occurrence of *Phytophthora infestans* on tomato in Emilia-Romagna region. *Bulletin OEPP/EPPO* 23: 607-613.
- Caffi T., Rossi V., Legler S. E., Bugiani, R., 2011. A mechanistic model simulating ascospore infections by *Erysiphe necator*, the powdery mildew fungus of grapevine. *Plant Pathology*, 60(3): 522-531.
- Driessen P.M., 1986. The water balance on the soil. In "Modelling of agricultural production: weather, soil and crops (H. Van Keulen e J. Wolf, eds) PUDOC, Wageningen
- Gadoury D., 1982. A Model to Estimate the Maturity of Ascospores of *Venturia inaequalis*. *Phytopathology*. 72. 10.1094/Phyto-72-901.
- Rossi V., Giosuè S., Bugiani R., 2007. A-scab (Apple-scab), a simulation model for estimating risk of *Venturia inaequalis* primary infections. 2007 The Authors. *Journal compilation © 2007 OEPP/EPPO, Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 37, 300–308.
- Trapman M., Polfliet M., 1997. Management of primary infections of Apple Scab with the simulation program Rimpro: review of four years field trials. *IOBC Bulletin*, Vol. 20 (9): 241-250.

GEOSAFE – DATABASE AGROCLIMATICO ITALIANO A FINI ASSICURATIVI

GEOSAFE – AN ITALIAN AGRO-CLIMATIC DATABASE FOR INSURANCE ANALYSIS

Gabriele Cola^{1*}, Luigi Mariani¹, Nicola Pasetti², Teodoro Georgiadis³, Federica Rossi³

¹ Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

² ANIA Servizi e Formazione Srl – Milano

³ CNR-Istituto per la BioEconomia, Bologna

* Via Celoria 2, 20133 Milano – gab.colala@gmail.com

Abstract

GEOSAFE is a Web-GIS database provided by ANIA, the Italian national association of insurance companies. Based on weather station daily data collected from different international, national and regional sources, daily fields (with a spatial resolution of 400 x 400 m) of temperature, precipitation, snow, wind velocity, hail potential have been obtained. On the base of daily fields, GEOSAFE allows the user to obtain several climatic and agroclimatic indexes, calculated for three different reference periods (1951-2018, 1989-2018 and 2009-2018). The statistics of the reference period can be analysed at three different time resolutions: year, month, ten-day, and compared with the specific values of a given year. The system will be constantly updated in order to provide an up to date description of current climate. In the current version, agroclimatic indexes are referred to maize, wheat, grapevine and olive but the modular approach adopted allows an easy upgrade to different species.

Parole chiave

Database GIS, indici di rischio

Keywords

GIS Database, risk indexes

Introduzione

Le attività in ambito meteo-climatologico devono fondarsi su dati di buona qualità e prodotti con regolarità e sull'interpretazione degli stessi con modelli adeguati, come sottolineano le normative WMO (es: WMO n.8 - Guide to meteorological instruments and methods of observation, WMO n. 134 - Guide to Agrometeorological Practices e WMO n. 100 - Guide to Climatological Practices).

L'Associazione Nazionale fra le Imprese Assicuratrici (ANIA), mediante la piattaforma WebGIS GEOSAFE, mira a fornire alle Imprese Assicuratrici l'accesso a database utili a supportare le diverse fasi del processo di business assicurativo.

Nel lavoro qui presentato viene illustrata l'attività di realizzazione di una banca dati climatologica – GEOSAFE RISCHIO CLIMATICO- ed agroclimatologica – GEOSAFE RISCHIO AGRICOLO - tramite la quale le imprese possono ricavare Indici di Rischio, applicabili a livello dell'intero territorio nazionale, in relazione alle condizioni di pericolosità e di esposizione dei diversi assets. Al riguardo giova premettere che In termini generali il rischio meteorologico (weather related risk) per una coltura è dato dall'interazione fra il fattore di rischio (hazard), l'esposizione al rischio (exposure) e la suscettibilità

(susceptibility)³. Nello specifico la suscettibilità e l'esposizione al rischio dipendono dalla fase fenologica e dalle pratiche agronomiche adottate dall'agricoltore per mitigare il rischio o adattare la coltura al rischio stesso.

Quel che si ottiene è un rischio potenziale che potrà o meno tradursi in un danno (damage) valutabile da un perito estimatore. Di fronte a un rischio meteorologico l'agricoltore pone in atto misure di adattamento (a parità di entità del rischio si riduce il danno) o di mitigazione (si agisce sul fattore di rischio riducendone l'entità).

Materiali e metodi

I prodotti GEOSAFE si basano su un database di dati meteorologici giornalieri provenienti da fonti istituzionali internazionali, nazionali e regionali.

I dati sono stati attinti dalle reti dei servizi meteorologici regionali, dalla rete dell'ex servizio idrografico (SIMN), dalla rete GSOD delle NOAA, dalla rete di CREA-Cma e dalla rete SCIA, per un totale di 9494 serie storiche che coprono il periodo 1951-2018.

I controlli di qualità sulle precipitazioni hanno visto dapprima l'adozione di un criterio di completezza dei singoli anni (90% dei dati annui negli anni disponibili) cui è

³ La vulnerabilità (vulnerability) esprime l'effetto combinato di suscettibilità ed esposizione al rischio

seguita l'analisi visuale delle carte ottenute, spazializzando i dati medi annui e stagionali dei periodi 1951-80 e 2000-2018 spazializzati.

I controlli di qualità sulle temperature massime e minime hanno visto l'applicazione del criterio di rappresentatività rispetto alla quota per le tre subaree (44° N, 44-41°N e <41°N) tramite regressioni rispetto alla quota delle medie annue e stagionali per l'intero periodo e per 1951-80 e 2000-2018. Con analisi visuale sono state escluse le troppo calde o troppo fredde per la quota a cui si trovano.

Con riferimento alla velocità del vento la validazione è stata eseguita tramite analisi visuale del vento medio annuo.

Le serie validate sono alla base di un sistema di ricostruzione spaziale basato su algoritmi geostatistici (Cola et al. 2020, Mariani et al. 2012) finalizzati alla produzione di carte nazionali georeferenziate dei dati meteo di base in formato raster ad alta risoluzione (pixel = 400x400 m).

Sulla base di specifici algoritmi vengono quindi derivate le carte per neve (Kienzle, 2008; Legates e Bogart, 2009) e potenziale grandinigeno (Mohr et al., 2015).

Dai dati giornalieri sono state quindi derivate le statistiche relative agli indicatori climatici ed agroclimatici, riferite a **tre periodi** (1951-2018, 1989-2018, 2009-2018) ed aggregate secondo **tre passi temporali** (anno, mese, decade).

Il periodo di riferimento 1951-2018 appare particolarmente indicato per le valutazioni degli eventi estremi, in special modo se caratterizzati da tempi di ritorno elevati. Il periodo 1989-2018 funge da normale climatica WMO, essendo il trentennio più recente disponibile. Il decennio 2009-2018 fornisce invece un quadro più recente, adatto a specifiche finalità assicurative, anche se troppo breve per fornire una robusta base climatica.

Le aggregazioni annuale, mensile e decadale forniscono diversi livelli di dettaglio temporale, atti a rispondere alle diverse esigenze del settore assicurativo.

Per quanto riguarda GEOSAFE RISCHIO CLIMATICO vengono prodotti i seguenti indicatori:

1. Massimi precipitativi assoluti in un giorno (1°, 2°, 3°, 4° e 5° massimo)
2. Percentili delle precipitazioni giornaliere (50°, 90°, 95°, 99°)
3. n° di giorni con pioggia* ($R_r > 1$ mm) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
4. n° anno di giorni con piogge moderate* ($R_r > 20$ mm) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
5. n° di giorni con piogge abbondanti ($R_r > 50$ mm) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
6. n° di giorni con piogge molto abbondanti ($R_r > 75$ mm) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
7. n° di giorni con piogge eccezionali ($R_r > 100$ mm) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
8. Precipitazione giornaliera attesa [mm] (tempo ritorno a 10, 25, 50, 100 anni)
9. Massimi nevosi assoluti in un giorno (1°, 2°, 3°, 4° e 5° massimo)

10. Percentili della neve giornaliera (50°, 90°, 95°, 99°)
11. n° di giorni con neve ($h > 1$ cm) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
12. Massimo assoluto delle temperature massime giornaliere
13. Minimo assoluto delle temperature minime giornaliere
14. Media delle temperature massime giornaliere (media, massimo, minimo, deviazione standard)
15. Media delle temperature minime giornaliere (media, massimo, minimo, deviazione standard)
16. Media delle temperature medie giornaliere (media, massimo, minimo, deviazione standard)
17. n° di giorni caldo estremo ($T_x > 35^\circ\text{C}$) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
18. n° di giorni di gelo* ($T_n < 0^\circ$) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
19. n° di giorni di freddo moderato ($T_n < -5^\circ\text{C}$) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
20. n° di giorni di freddo intenso ($T_n < -10^\circ\text{C}$) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
21. n° di giorni di ghiaccio* ($T_n < 0$) and ($T_x < 0$) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
22. n° di giorni con vento forte ($WV_x \geq 13.9$ m/s) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
23. n° di giorni con tempesta ($WV_x \geq 24.9$ m/s) (media, massimo, minimo, deviazione standard)
24. Potenziale grandinigeno

Nel caso di GEOSAFE RISCHIO AGRICOLO, le variabili meteorologiche definiscono i fattori di rischio per le colture agrarie. Il rischio per la coltura deriva dall'incrocio delle suddette informazioni con la suscettibilità della coltura, stabilita in funzione dello stadio di sviluppo (fenologia) in cui la coltura si trova nel corso dell'anno.

Il sistema simula, anno per anno, giorno per giorno, lo sviluppo della coltura e l'interazione con le variabili ambientali mediante specifiche curve di risposta, producendo statistiche sui fattori di rischio.

Nella attuale versione vengono prodotti indicatori per frumento, mais, vite ed olivo.

Nel caso delle colture erbacee è possibile definire la classe di precocità (per mais, secondo le classi FAO) e la data di semina.

Nel caso delle colture arboree è possibile selezionare la classe di precocità.

Per ogni coltura vengono quindi prodotti, sempre sulla base del periodo di riferimento e dello step temporale selezionato:

1. Stadio fenologico [Scala BBCH] (media, massimo, minimo, deviazione standard)
2. Evapotraspirazione da coltura di riferimento [mm] (media, massimo, minimo, dev. std)
3. Evapotraspirazione massima della coltura [mm] (media, massimo, minimo, dev. std)
4. Evapotraspirazione reale della coltura [mm] (media, massimo, minimo, dev. std)

5. Contenuto idrico del terreno [mm] (media, massimo, minimo, dev. std)
6. Stress idrico della coltura [numero di giorni] (media, massimo, minimo, dev. std)
7. Risorse termice [accumulo di gradi giorno] (media, massimo, minimo, dev. std)
8. Stress da alte temperature [numero di giorni] (media, massimo, minimo, dev. std)
9. Stress da basse temperature [numero di giorni] (media, massimo, minimo, dev. std)

Risultati

Al fine di consentire un più efficace utilizzo dei dati prodotti, GEOSAFE consente differenti tipi di consultazione:

1 – NAVIGAZIONE SUL PORTALE

Questa modalità permette all'utente di caricare a video la carta delle statistiche annuali riferite al trentennio di riferimento 1989-2018 per una selezione di variabili di interesse. L'utente potrà quindi muoversi sulla mappa nazionale e cercare i punti di proprio interesse per effettuare analisi di maggiore dettaglio mediante lo strumento di interrogazione interattiva.

2 – INTERROGAZIONE INTERATTIVA PER SINGOLO PUNTO

L'utente può navigare, scegliere un punto e attivare l'interrogazione dinamica. Con questa funzione, l'utente sceglie il periodo di riferimento, il passo temporale e - nel caso del database agricolo - coltura, classe di precocità ed eventuale data di semina, ed ottiene un file di calcolo contenente tutte le variabili climatiche/agroclimatiche per il punto richiesto. È possibile inoltre estrarre i dati specifici di un singolo anno per confrontarli con i valori statistici relativi al periodo di riferimento scelto.

3 – INTERROGAZIONE INTERATTIVA PER UNA LISTA DI PUNTI

L'utente può caricare una lista di punti di interesse attivare l'interrogazione dinamica. L'interrogazione è analoga a quella per singolo punto ma permette di richiedere le statistiche riferite alla lista di punti per un singolo indicatore alla volta.

In figura 1 e 2 vengono presentate le cartografie medie annue (1989-2018) relative al numero di giorni con temperatura minima inferiore a -5°C e temperatura massima superiore a 35°C .

In figura 3 viene presentata l'andamento decadale del numero di giorni di stress di caldo per vite (precocità media) nel sito siciliano di Sciacca. I dati del 2018 vengono confrontati con le statistiche del trentennio 1989-2018.

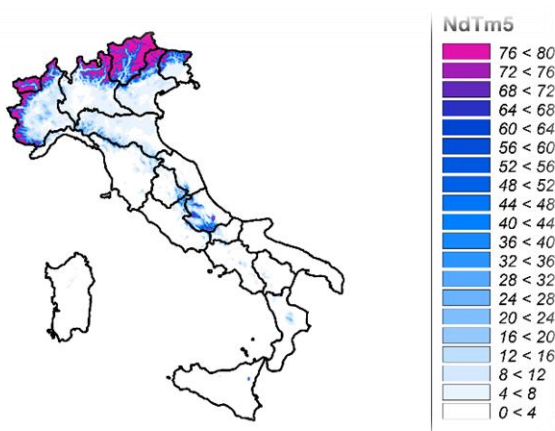


Fig. 1. Numero medio annuo di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore a -5°C , calcolato sul periodo 1989-2018.

Fig. 1. Average annual number of days with a minimum daily temperature below -5°C , calculated over the period 1989-2018.

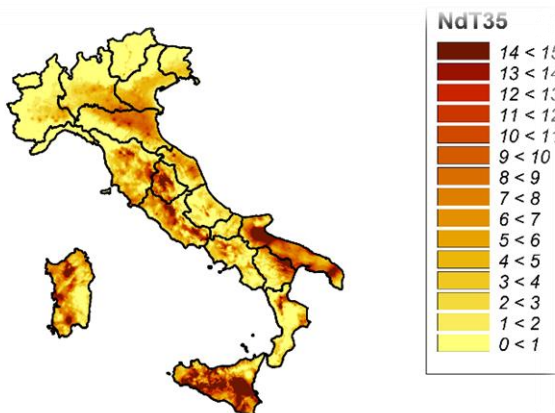


Fig. 2. Numero medio annuo di giorni con temperatura massima giornaliera superiore a 35°C , calcolato sul periodo 1989-2018.

Fig. 2. Average annual number of days with maximum daily temperature above 35°C , calculated over the period 1989-2018.

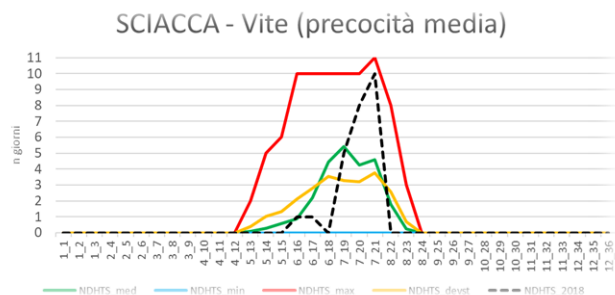


Fig. 3. Numero di giorni di stress di caldo per vite (precocità media) nel sito siciliano di Sciaccia. L'anno 2018 viene confrontato con la statistica decadale calcolata sul trentennio 1989-2018.

Fig. 3. Number of heat stress days for vine (average earliness) at the Sicilian site of Sciaccia. The year 2018 is compared with the ten-day statistics calculated over the thirty-year period 1989-2018.

Discussione e conclusioni

La piattaforma GEOSAFE si pone come uno strumento interattivo a supporto delle diverse fasi del processo di business assicurativo, integrando differenti modalità di consultazione ed estrazione del dato e favorendone l'elaborazione ad hoc, secondo le specifiche esigenze dell'utente.

I prodotti agrometeorologici del sistema GEOSAFE sono stati concepiti per essere oggetto di periodico aggiornamento della base dati, al fine di consentire una più corretta caratterizzazione statistica della fase climatica corrente a supporto delle attività assicurative. Inoltre, l'approccio modulare adottato permette l'estensione degli indicatori agroclimatici a nuove colture di interesse.

Bibliografia

- Cola G., Mariani L., Toscano S., Romano D., Ferrante A. 2020. Comparison of greenhouse energy requirements for rose cultivation in Europe and North Africa. *Agronomy*. 10(3):422
- Kienzle S.W., 2008. A new temperature based method to separate rain and snow, *Hydrol. Process.* 22: 5067–5085
- Legates D.R., Bogart T.A., 2009. Estimating the Proportion of Monthly Precipitation that Falls in Solid Form, *Journal of Hydrometeorology*
- Mariani L., Parisi S.G., Cola G., Failla O., 2012. Climate change in Europe and effects on thermal resources for crops. *International Journal of Biometeorology*, 56: 1123-1134,
- Mohr S., Kunz M., Geyer B., 2015. Hail potential in Europe based on a regional climate model hindcast, *Geophys. Res. Lett.*, 42: 10,904–10,912
- WMO, 2021. WMO n.8 - Guide to meteorological instruments and methods of observation. https://library.wmo.int/index.php?id=12407&lvl=notice_display#.YNLcHugzY2w
- WMO, 2021. WMO n. 134 - Guide to Agrometeorological Practices. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12113#.YNLchugzY2w
- WMO, 2021. WMO n. 100 - Guide to Climatological Practices. <https://public.wmo.int/en/resources/library/guide-climatological-practices-wmo-100>

INFORMAZIONI AGRO-METEO PER LA FERTILIZZAZIONE ORGANICA NEL BACINO PADANO-VENETO

AGRO-METEO INFORMATION FOR THE ORGANIC FERTILIZATION IN THE PO PLAIN

Giampaolo Sarno^{1*}, Chiara Ferronato¹, Lucio Botarelli¹, Lorenzo Craveri², Carlo Riparbelli², Monica Bassanino³, Federico Spanna³, Irene Vercellino³, Gabriele Antolini⁴, William Pratzoli⁴, Giulia Villani⁴, Sarah Vanin⁵, Daniele Putti⁵, Barbara Lazzaro⁵, Alberto Bonini Baraldi⁶, Irene Delillo⁶

¹ Regione Emilia-Romagna, Direzione Agricoltura Caccia e Pesca, viale della Fiera 8, Bologna

² Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste, via Pola 12, Milano

³ Regione Piemonte, Direzione Agricoltura e Cibo, C.so Stati Uniti 21, Torino

⁴ ARPAE Servizio Idro-Meteo-Clima, viale Silvani 6 Bologna

⁵ Regione del Veneto, Direzione Agroambiente, programmazione e gestione ittica e faunistico venatoria, via Torino 110, Mestre

⁶ ARPAV Unità Meteorologia e Climatologia, via Marconi 55, Teolo (PD)

*giampaolo.sarno@regione.emilia-romagna.it

Abstract

Nitrogen fertilization of soil can negatively impact the quality of water and air resources.

Therefore, the European legislation on nitrates requires Administrations to support farmers to the correct use of organic fertilizers, in the period of greatest criticality, in order to ensure the recovery of nutrients for crops and soil fertility.

Most Italian regions publish regional bulletins to provide farmers with the latest information on rainfall and local pedological conditions, based on agrometeorological models output, to optimize fertilization practices while reducing pollution risk.

After the judgment of European Court of Justice against Italy for the infringement of air quality legislation in the Po valley, these bulletins can be implemented with measures to reduce the concentrations of atmospheric particulate from agricultural sources.

This poster presents the models used to prepare integrated bulletins in Emilia-Romagna, Piedmont, Lombardy and Veneto regions and related examples.

Parole chiave

Modelli agrometeorologici, Fertilizzazione, Azoto, Nitrati, Qualità dell'aria, Protezione ambientale

Keywords

Agrometeorological model, Fertilization, Nitrates, Nitrogen, Air quality, Environmental protection

Introduction

Nitrogen fertilization is largely needed in modern agriculture. Lack of information and awareness on local agro-meteorological conditions leads to unbalanced fertilization strategies. These inappropriate soil management practices, combined with chemical nitrogen speciation and leaching processes can deeply impact on water and air quality.

In order to assure agricultural needs for crops and soil fertility and to protect environmental resources, the European Nitrate Directive (Directive 91/676/EEC), and the following national legislation (ITA D.lsg 152/2006 and D.M. n 5046/2016) requires Administrations to set conditions for the correct use of organic fertilizers, in the period of greatest criticality, during autumn and winter season (e.g. Piedmont Reg. n.10/R/2007 and ss.ii.;

Lombardia D.g.r. 2/3/2020 - n. XI/2893; Emilia Romagna Reg. 3/2017; Veneto DGR 1835/2016 and ss.ii.).

In addition, after a recent judgement of the European Court of Justice against Italy for the infringement of air quality legislation in the Po valley (CJEU Nov. 10th, 2020), regional strategies must be implemented with measures to reduce the concentrations of atmospheric particulate from agricultural sources.

Different local government, together with their Regional Agencies for Environmental Protection (ARPA), have thus implemented agro-meteorological models based on soil water conditions, weather and air quality data forecasts in order to issue bulletins for guiding farmers on the proper use of organic fertilizers.

The aim of this work is to present the different models and bulletins adopted by the Po Plain regions (Piedmont, Lombardy, Emilia-Romagna and Veneto).

Materials and Methods

Bulletins are published periodically from November to February, according to the different agro-meteorological models used in each region.

Forecast models generally take into account the previous and predicted amount of rainfall; in each polygon of the soil map (predominant soil) or defined area, then a soil water balance model can be applied, or the soil water deficit value can be calculated through geostatistical models with respect to the field capacity up to different soil depths and defined thresholds; the mean value of PM10 concentration resulted from the air bulletin and daily elaborated by ARPA models. Usually, a regional network of meteorological stations provides input data. Then, data are elaborated according to the pedoclimatic zones of the regions or/and the presence of vulnerable/non vulnerable zones (Figure 1). The bulletins are published periodically according to the different regions (e.g. daily for Veneto, twice a week for Lombardy, three times per week for Emilia Romagna and Piedmont). Some region has already integrated the “nitrate-air bulletin” from November to March (e.g. Emilia Romagna), while other regions will integrate it within 2021.

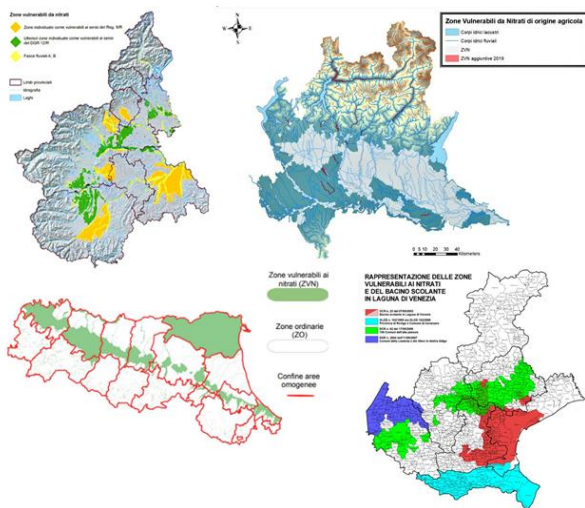


Fig. 1. Mappa delle zone vulnerabili (ZVN) e delle zone ordinarie (ZO) in differenti regioni.

Fig. 1. Maps of the vulnerable zones (ZVN) and ordinary zones (ZO) in the different regions.

Results and Discussion

According to the Italian DM 25/2/2016, animal slurry and liquid digestate distribution is anyway forbidden for 62 continuative days during the critical nitrate period (December- January) and when soils are frozen, water saturated, covered with snow, or during rainy days, while

for the remaining days of the season, distribution are regulated by regional bulletins.

Bulletins give indications to farmers about the possibility or the deny spreading organic fertilizers, according to the geographic position of the parcel. The visual output of the bulletins is based on traffic-light alert in Emilia Romagna Lombardy and Veneto regions while it is white and black in Piedmont. In case of positive signals (e.g., green or white colour) farmers are allowed to use organic fertilizers while in case of negative signal (e.g., or black colour), fertilization practices are denied.

In some areas established by the local governments (e.g. vulnerable zones, plain areas, peri-urban areas, etc.) nitrate bulletins are subjected to further limitations, and give a further signal of alert to farmers in case of bad water and air quality forecast. In this case farmers are allowed to spread organic fertilizers only through environment-friendly techniques (quick surface incorporation or injection in the soil).

This system of integrated bulletins is still active in Emilia-Romagna region since February 2020, while in Piedmont it will be active starting from autumn 2021. Lombardy and Veneto regions still maintain two separate bulletins but will integrate the system within 2021.

Conclusions

Nitrate-air bulletins aim to act as one-stop-shops for farmers to ensure a better management of organic fertilizers, during autumn-winter period in the Po Plain.

The geographical, hydrological and meteorological similarity between the regions requires a coherent management of information and coordinated actions on the entire Po river basin. The correct use of information, supplied by Regional Governments through transparent methods based on agrometeorological models will lead to an integrated management of agricultural practices potentially dangerous for the environment. Therefore, an improvement for surface and groundwater quality, as well as a reduction of air pollution can be achieved, while a more sustainable production can be obtained.

References

- Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources.
- Decreto Interministeriale ITA n. 5046 25/2/2016 “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”.
- Regolamento regionale Emilia-Romagna n. 3/2017.
- Regolamento regionale Piemonte n 10/R/2007.
- Deliberazione Regione Lombardia del 2 marzo 2020 - n. XI/2893.
- Deliberazione Regione Veneto del 25 novembre 2016, n.1835

PROGETTO LIFE ADA - ADATTAMENTO IN AGRICOLTURA: PRIMI RISULTATI DELLE ANALISI CLIMATICHE

LIFE ADA PROJECT - ADAPTATION IN AGRICULTURE: FIRST RESULTS OF CLIMATE ANALYSIS

Giulia Villani^{1*}, Rodica Tomozeiu¹, Valentina Pavan¹, Gabriele Antolini¹, William Pratzzoli¹, Fausto Tomei¹, Antonio Volta¹, Stefania Faccioli², Carlo Cacciamani¹

¹ ArpaE SIMC - Struttura IdroMeteoClima, viale Silvani 6 Bologna

² Unipol SAI Assicurazioni, via Stalingrado 45, Bologna

* gvillani@arpae.it

Abstract

ADA Life project (ADaptation in Agriculture) is financed by the Life programme of the EU Commission and it is aimed at enhancing the resilience of the agricultural sector by providing to farmers knowledge and tools in order to adapt to climate change. The project is addressed to farmers and organisations of producers of Parmigiano-Reggiano, wine and fruit and vegetable supply chains. The adaptive capacity of ADA users will be enhanced by the ADA tool that will be used to define adaptation plans at farm and supply chain level. At the basis of the tool, in addition to a database of adaptation actions to prevent and manage risks deriving from Climate Change, climate information regarding the main variables connected to the risk in agriculture are provided. In more detail, climate change projections for temperature and precipitation at national level with focus on pilot areas will be produced by means of statistical downscaling for the period 2021 - 2050 (emissive scenario: RCP4.5).

Parole chiave

Cambiamento Climatico, mappe di pericolosità, piani di adattamento aziendali

Keywords

Climate Change, hazard maps, farm adaptation plans

Introduzione

Il settore agricolo e la sicurezza alimentare in generale risentono fortemente degli impatti dei cambiamenti climatici (IPCC, 2019), per questo l'analisi del rischio e del relativo adattamento diventa uno strumento imprescindibile a supporto delle scelte di gestione e delle strategie di pianificazione delle attività legate alla gestione delle colture agricole. I cambiamenti climatici incidono direttamente sulla produzione mettendo a rischio la redditività degli agricoltori, soprattutto medi e piccoli, e la capacità di sopravvivenza aziendale, influenzando negativamente anche la qualità della produzione (EEA, 2019).

Il progetto Life ADA – ADaptation in Agriculture (<https://www.lifeada.eu/it/>), è un progetto cofinanziato dall'Unione Europea mediante il programma Life e ha l'obiettivo di aumentare la capacità degli agricoltori e delle organizzazioni di produttori (OP) di definire piani di adattamento al cambiamento climatico, rafforzando così la loro capacità di gestire i rischi, prevenire i danni e garantire il mantenimento del valore prodotto lungo la filiera.

Il progetto si rivolge a singoli produttori e forme aggregate di produttori (OP e cooperative) di tre filiere (vitivinicola, ortofrutticola e del Parmigiano-Reggiano) e ha le seguenti finalità:

- trasferire conoscenze ai produttori sugli scenari climatici e sulla gestione dei rischi e delle misure di adattamento per migliorare la capacità degli

agricoltori ad affrontare i rischi climatici attuali e futuri;

- costruire strumenti adeguati di supporto al loro processo decisionale nella definizione di piani di adattamento efficienti a livello di azienda agricola e di filiera, tra i quali è presente la biblioteca ADA che permette all'utente di consultare le principali azioni di adattamento esistenti e scegliere le più efficaci per la propria realtà aziendale;
- promuovere un approccio innovativo da parte dell'assicurazione per rafforzare la capacità di riduzione del rischio climatico (attuale e futuro) al fine di mantenere l'assicurabilità degli agricoltori a lungo termine, nonostante l'aumento dei rischi catastrofici e sistemici;
- definire una strategia politica coerente a livello regionale per sostenere la pianificazione degli agricoltori in una prospettiva di adattamento al cambiamento climatico.

Leader di progetto è UnipolSai assicurazioni SpA, che coordina un partenariato pubblico-privato costituito da Regione Emilia-Romagna, ARPAE (Agenzia per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna), CREA-BP (Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – Centro Politiche e Bioeconomia), due forme aggregate di produttori - OP e cooperative (CIA Agricoltori Italiani, Legacoop

Agroalimentare Nord Italia), Leithà azienda di innovazione e big data e Circolo Festambiente ONG ambientale.

Il progetto avrà una prima applicazione nella regione Emilia-Romagna (zona pilota) per poi essere replicato in Veneto, Toscana e Lazio.

Uno degli obiettivi tecnici di ADA è lo sviluppo di uno strumento web finalizzato al supporto dell'agricoltore o della OP nell'adozione dei piani di adattamento aziendali o di filiera.

Tra le fonti informative che popoleranno lo strumento ADA, alla base della adozione dei piani di adattamento, vi sono mappe di pericolosità relative a grandezze che rappresentano un rischio per il settore agricolo, a scala regionale o nazionale che permetteranno di descrivere la situazione climatica attuale (clima presente) e per alcune grandezze anche il trend futuro (proiezioni climatiche) (Azione A.1).

Le variabili primarie per le quali saranno fornite mappe stagionali sull'intero territorio nazionale, per il passato e per il futuro, sono temperatura e precipitazioni. Il presente lavoro descrive la metodologia applicata per ottenere tali mappe e i risultati preliminari sulle temperature.

Sulla base di queste variabili, saranno in seguito elaborate mappe di pericolosità relativamente ai seguenti rischi climatici: grandine, raffiche di vento, siccità, gelate.

Materiali e Metodi

Il modello di regionalizzazione statistica sviluppato per la costruzione di scenari di cambiamento climatico a livello nazionale, uno degli obiettivi dell'Azione A1 del progetto, è una regressione statistica multivariata basata sulla tecnica delle correlazioni canoniche (CCAReg) e include due step procedurali. Il primo di questi è un'applicazione della tecnica statistica delle correlazioni canoniche che consente di individuare, per il periodo di costruzione, diverse coppie di configurazioni (pattern) atmosferiche e di configurazioni al suolo per le quali è massima la correlazione. Il secondo step procedurale riguarda la modellazione delle proiezioni dei cambiamenti climatici e prevede la combinazione, mediante un modello di tipo perfect-prog, delle coppie di pattern risultate statisticamente significative con le simulazioni dei pattern atmosferici futuri previsti da uno o più modelli climatici globali o regionali (Tomozeiu et al., 2017).

La calibrazione del modello di regionalizzazione statistica si basa sulle rianalisi ERA-40 dell'Ecmwf (<https://apps.ecmwf.int/archive-catalogue/>) per i campi atmosferici e sui dati giornalieri di temperatura e precipitazione provenienti dal dataset europeo E-Obs versione 22 (risoluzione spaziale 0.1° <https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php>) per i dati climatici a scala nazionale, dati che coprono il periodo 1957-2010.

Le configurazioni atmosferiche simulate sul periodo storico (1971-2000) e sul periodo futuro (2021-2050) da vari modelli climatici globali afferenti al Coupled Model Intercomparison Project 5 (Cmip5) del World Climate

Research Programme (<https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip5/>) sono utilizzate nella seconda fase della regionalizzazione statistica del CCAReg, per la costruzione di scenari climatici nazionali. I modelli climatici globali presi in considerazione e afferenti al CMIP5 sono: Can-esm2, Cmcc-cm, Cnrm, Mpi e Norv (<https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip5/>). Per dare una maggiore robustezza statistica ai risultati, i cambiamenti ottenuti per ciascuno dei modelli climatici sono stati combinati insieme attraverso la tecnica dell'Ensemble Mean (EM).

Le proiezioni climatiche future prodotte all'interno del progetto sono a livello stagionale e riguardano: temperatura minima, temperatura massima e precipitazioni, simulate per il periodo 2021-2050. Mappe stagionali con la distribuzione del cambiamento climatico futuro verranno prodotte per individuare aree di maggiore vulnerabilità dal punto di vista climatico.

Inoltre, gli scenari stagionali di cambiamento climatico così ottenuti verranno poi trasformati per le aree di studio del progetto, identificate attraverso punti di griglia del dataset E-Obs, in serie sintetiche giornaliere mediante un weather generator (Stockle et al., 1999), da utilizzare poi come input nel modello CRITERIA (Marletto et al., 2007) per simulare il bilancio idrico e il fabbisogno delle colture sul periodo 2021-2050 rispetto al clima 1971-2000 per varie colture individuate nel progetto: erba medica (Emilia-Romagna) in relazione alla filiera del Parmigiano-Reggiano, vite (Emilia-Romagna, Toscana, Lazio, Veneto) per la filiera vitivinicola, pomodoro (Emilia-Romagna, Toscana) e kiwi (Emilia-Romagna e Veneto) per l'ortofrutta.

Per lo studio dei cambiamenti climatici futuri sul territorio nazionale all'interno del progetto e per gli studi di impatto della domanda irrigua, è stato individuato lo scenario emissivo di stabilizzazione - Representative Concentration Pathways (RCP) 4.5, secondo il quale, a fine secolo, sarebbero previste concentrazioni totali di gas serra equivalenti a una concentrazione di diossido di carbonio di circa 630 ppm.

Risultati e Discussione

I risultati preliminari di scenario climatico evidenziano per il periodo 2021-2050 e per lo scenario emissivo RCP4.5, un probabile aumento della temperatura minima e massima in tutte le stagioni e su tutto il territorio nazionale. Le simulazioni prodotte dallo schema di downscaling statistico (CCAReg) applicato ai vari GCMs, sia per la temperatura minima che per la massima stagionale, sono in genere concordi tra di loro: tutti i modelli, per tutte le stagioni e per tutti gli indici evidenziano un probabile aumento dei valori, leggermente più intenso durante l'estate. La figura 1 mostra i risultati preliminari per il punto di griglia del data set Eobs nell'area di Grosseto della proiezione di temperatura minima invernale sul periodo 2021-2050 ottenute attraverso lo schema di regionalizzazione statistica (CCAReg) applicata ai modelli climatici globali descritti in precedenza. Come si può notare per questo caso di studio tutti i modelli

evidenziano per il 2021-2050 un probabile aumento di circa 1.5°C (Ensemble Mean) rispetto al periodo 1971-2000.

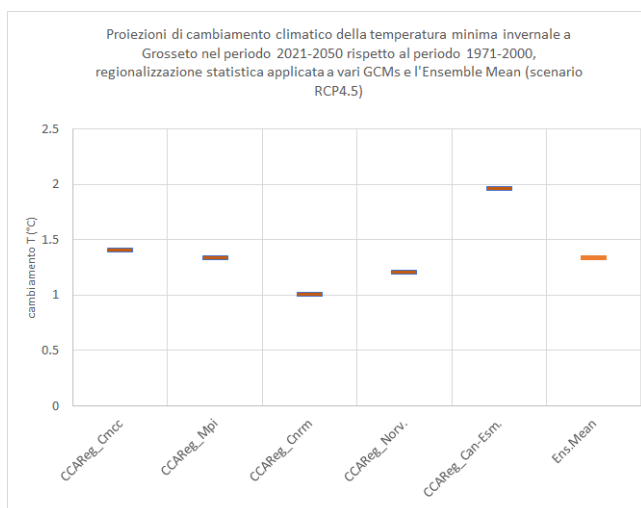


Fig. 1. Proiezioni di cambiamento climatico 2021-2050 di anomalia di temperatura minima invernale nell'area di Grosseto rispetto al clima 1971-2000, ottenute a partire dai dati di diversi modelli GCM.

Fig.1. Climate change projection 2021-2050 of anomaly of winter minimum temperature in Grosseto area with respect to 1971-2000, obtained from data of different GCM models

Conclusioni

Il progetto Life ADA metterà a disposizione degli utenti (agricoltori e OP) una app che visualizzerà informazioni climatiche in relazione alla geolocalizzazione dell'azienda. Tali informazioni includeranno da un lato mappe di pericolosità relativa alla frequenza di occorrenza di eventi meteorologici avversi quali grandine, raffiche di vento, gelate tardive e siccità, per i quali è noto un impatto consistente sulla produzione, un prodotto particolarmente innovativo.

Dall'altro, nella app verranno resi disponibili informazioni sugli scenari di cambiamento climatico per i parametri di temperatura massima e minima e precipitazione, ottenuti applicando metodi di regionalizzazione statistica ai dati di scenario di alcuni Coupled GCM, come nel caso di studio qui presentato.

Questo strumento potrà quindi offrire elementi decisionali relativi alla pianificazione futura dell'azienda agricola utilizzando tecniche comunicative atte a rendere più fruibile l'informazione da parte degli utenti.

Ringraziamenti

Questo contributo viene presentato nell'ambito del Progetto ADA (LIFE19 CCA/IT/001257) finanziato dal programma LIFE della Commissione Europea.

Bibliografia

- European Environment Agency, 2019, Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. 108 pp., doi:10.2800/537176.
- IPCC, 2019, Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
- Marletto V., Ventura F., Fontana G., Tomei F., 2007, Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model. *Agricultural and forest meteorology*, 147: 71-79.
- Stockle C.O., Campbell G.S., Nelson R., 1999, *ClimGen manual*, Biological Systems Engineering Department Washington State University.
- 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*, doi.org/10.1007/s00703-017-0536-7.

