



Atti del XXIV Convegno Nazionale di Agrometeorologia

L'Agrometeorologia a supporto dei sistemi colturali e zootecnici

CAGLIARI, 15-17 Giugno 2022

A cura di
Francesca Ventura, Gabriele Cola, Giovanni Maria Poggi

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari
Università di Bologna

i



ISBN 9788854970892
DOI 10.6092/unibo/amsacta/6936

Comitato Scientifico

Francesca Ventura
Federica Rossi
Filiberto Altobelli
Maria Carmen Beltrano
Anna Dalla Marta
Emanuele Scalcione
Federico Spanna
Domenico Ventrella

Comitato organizzatore

Marcello Giovanni Onorato
Marco Secondo Gerardi
Salvatore Aresu

Segreteria Organizzativa

Simone Falzoi
Tiziana La Iacona
Irene Vercellino
Alessandro Corona
Angela Scano
Antonella Barbara Corda
Alessandra Cornaglia

Bologna, 2022



Laore

Agencia regionale
pro sviluppo in agricultura
Agencia regionale
per lo sviluppo in agricultura



esri Italia
THE SCIENCE OF WHERE™

ii



REGIONE AUTÓNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



FNOVI
FEDERAZIONE NAZIONALE
ORDINI VETERINARI ITALIANI



Atti del XXIV Convegno Nazionale di Agrometeorologia

L'Agrometeorologia a supporto dei sistemi colturali e zootecnici

CAGLIARI, 15-17 Giugno 2022

A cura di Francesca Ventura, Gabriele Cola, Giovanni Maria Poggi

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari
Università di Bologna

iii



L'Agrometeorologia a supporto dei sistemi colturali e zootecnici

Sessione 1 - Modellistica agrometeorologica per le produzioni vegetali

Sensibilità delle rese delle colture a varie rappresentazioni del sistema terrestre <i>Valmassoi A., Keller J. D.</i>	1
Analisi dei flussi di respirazione del suolo in un agrumento sottoposto a differenti pratiche irrigue e di gestione del suolo <i>Guarrera S., Giudice G., Vanella D., Consoli S., Milani M., Longo D.</i>	6
Una piattaforma per la modellizzazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sul fabbisogno idrico locale e regionale <i>Masia S., Trabucco A., Spano D., Snyder R. L., Sušnik J., Marras S.</i>	11
Il decision support system di Abaco Farmer per la stima del contenuto idrico ed i suoi effetti fisiologici <i>Parisi S. G., Benzi L., Bertellini P., Nolli T., Testi P.</i>	16
Effetti del cambiamento climatico sulla fenologia del frumento in Italia: un caso studio <i>Poggi G. M., Aloisi I., Vignudelli M., Ventura F.</i>	21
Problematiche e modellizzazione empirica dei dati mancanti della densità di flusso di linfa misurata con il metodo della dissipazione del calore in un uliveto super intensivo <i>Ferrara R. M., Bruno M. R., De Michele V. R., Gaeta L., Martinelli N., Mongelli T., Ventrella D., Rana G.</i>	25
Stima della distribuzione della <i>Bactrocera oleae</i> (Rossi, 1790) nelle marche tramite un modello di massimizzazione dell'entropia e sviluppi futuri <i>Leonesi S., Tognetti D.</i>	30
Smart irrigation su vigneti di uva da tavola <i>Cappelluti O., Campi P., Tarricone L., Caputo A. R., Masi G., Modugno A. F.</i>	35
Validazione della fenologia della <i>Vitis vinifera</i> con il modello di crescita IVINE, calibrato su vari vitigni italiani <i>Cassardo C., Andreoli V., Traversa M.</i>	39
Dati agrometeorologici non convenzionali per la valutazione del fabbisogno idrico del pomodoro tramite il modello Aquacrop in Italia centrale <i>Altobelli F., Martelli A., Cecilia A., Rivoli M., Marinari S., Dalla Marta A.</i>	44
Selezione di siti per mandorleto utilizzando la delineazione delle zone microclimatiche ad alta risoluzione spazio-temporale <i>Maddalena D., L'Heureux J., Kenny N., Onorato G.</i>	50
Lemna minor e digestato: opportunità di economia circolare <i>Verdi L., Fratarcangeli E., Orlandini S., Marta A., Lenzi A., Baldi A.</i>	52

POSTERS

Un approccio di modellizzazione idrologica basato sul telerilevamento per stimare le serie temporali dell'evapotraspirazione effettiva giornaliera <i>Awada H., Di Prima S., Sirca C., Giadrossich F., Marras S., Spano D., Pirastru M.</i>	56
Stima della perdita di produzione lorda vendibile in un ampio comprensorio irriguo del friuli venezia giulia, a causa della riduzione dei volumi irrigui derivati dal fiume tagliamento nel rispetto del deflusso minimo vitale <i>Barbieri S., Sandra M., Carnio A., Volpe V., Cicogna A., Gallina V.</i>	61
Uso dei teli pacciamanti in arboricoltura: effetti di temperatura e contenuto idrico del suolo sulla crescita di frutti di pesco (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch) monitorati in continuo <i>Bruno M. R., Cappelluti O., De Carolis G., Mongelli T., Rana G., Ferrara R. M., Modugno A. F., Campi P.</i>	66
Verifica delle parametrizzazioni legate alle somme termiche per le prime fasi fenologiche della <i>Vitis vinifera</i> cv. Barbera in due siti piemontesi e valutazione della dipendenza dalla tipologia di dati <i>Cassardo C., Andreoli V., Chiaberge L., Gallarate M., Pregolato A.</i>	71
Variazione della composizione antocianica di quattro cultivar di mirtillo gigante americano in risposta alle condizioni ambientali – prime evidenze (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) <i>Cavenago B., Cola G., Cariboni A., Spinardi A.</i>	76
Progetto SUPERFEED: fenologia e produttività di sulla e lupinella nell'ambiente pedoclimatico della Val d'Arbia <i>Hilaj F., Fabbri C., Napoli M., Vivoli R., Dalla Marta A., Orlandini S., Mancini M.</i>	80
Strategie innovative per migliorare la resilienza del grano duro in ambiente mediterraneo in condizione di cambiamento climatico <i>Mereu V., Carboni G., Mulè P., Urracci G. R., Dettori M.</i>	84
Progetto GECCO2 - l'esperimento di un mercato volontario di crediti di carbonio <i>Volta A., Villani G., Cinti A., Tomei F., Giarri F., Alessandrini C.</i>	85

Sessione 2 - Modellistica agrometeorologica per la zootecnia

Servizi di ARPAS a supporto della zootecnia in Sardegna <i>Peana I., Fiori M., Fois G., Mannu G.</i>	88
Sviluppo del nuovo sistema di supporto alle decisioni per la gestione della distribuzione dei reflui in Lombardia <i>Cola G., Movedi E., Vesely F., Foi M., Riparbelli C., Craveri C., Motta S. R., Confalonieri R.</i>	93
Indice di temperatura e umidità per la valutazione delle condizioni di stress da caldo nei bovini da latte in differenti aree geografiche del Mugello (Toscana) <i>Messeri A., Crisci A., Messeri G., Ortolani A., Gozzini B., Morabito M., Bozzi R., Sirtori F., Orlandini S., Mancini M.</i>	95
Effetto del microclima sull'accumulo di miele di castagno: primi risultati osservati in un apiario in Mugello <i>Mancini M., Arcidiaco L., Evangelista B., Djialeu Tiako D., Orlandini S., Sabatini F., Grassi C., Dalla Marta A., Messeri A.</i>	100

POSTERS

Un modello numerico di previsione degli effetti dello stress da caldo sulla produzione di latte in allevamenti bovini a partire da dati climatici <i>Benni S., Agrusti M., Bovo M., Barbaresi A., Ceccarelli M., Santolini E., Torreggiani D., Tassinari P.</i>	104
Rilevamento dell'intensità di pascolamento attraverso l'integrazione di diverse tecnologie innovative: un'applicazione negli appennini <i>Stendardi L., Aquilani C., Argenti G., Bellini E., Bindi M., Bozzi R., Confessore A., Dibari C., Moriondo M., Nannucci L., Padovan G., Pugliese C., Staglianò N.</i>	108

Sessione 3 - Strategie e sistemi per la fornitura di servizi agrometeorologici

La RAN - Rete Agrometeorologica Nazionale: rilancio e prospettive <i>Dal Monte G., Esposito S., Alilla R., De Natale F., Fanchini D., Pepe A. G., Scaglione M., Parisse B.</i>	112
Il ruolo dell'agrometeorologia nel supporto alle politiche e fabbisogni di ricerca e innovazione nel settore <i>Pontrandolfi A., Epifani C., Spanna F., Gerardi M., Caponero A., Scalcione E.</i>	117
Un nuovo sistema di supporto alle decisioni in ambito fitoiatrico per i servizi e le agenzie regionali italiane <i>Gruppo MISFITS.</i>	122
La caratterizzazione climatica della Sardegna: gli studi climatologici dell'ARPAS e gli aggiornamenti al 2020. <i>Delitala A. M. S., Fiori M., Fois G., Fioravanti G.</i>	126
La piattaforma agrometeorologica per il supporto alle decisioni in agricoltura <i>Fenu G., Mallocci F. M.</i>	131
I sistemi informativi geografici a servizio del monitoraggio in agricoltura <i>Aresu S., Fantola F., Gerardi M. S., Melis A., Onorato M., Scano A., Schirru P.</i>	136
Previsioni mensili di irrigazione in Emilia-Romagna <i>Tomei F., Villani G., Pirola A., Pavan V.</i>	138
Stima del bias di dataset ERA5-LAND E E-OBS dal 1981 al 2021 per una migliore assistenza tecnica all'irrigazione nelle aree vitivinicole dell'Abruzzo <i>Di Lena B., Vergni L., Parisse B., Alilla R., De Natale F., Curci G.</i>	141

POSTERS

La caratterizzazione della variabilità agroclimatica nella piattaforma integrata SardiniaLands, uno strumento di supporto alla pianificazione del territorio rurale e alla coltivazione sostenibile di vite, olivo, agrumi e mandorlo <i>De Oliveira A. F., Fiori M., Cossu S., Lorrari E., Demontis R., Muscas L., Casari C., Marrone A., Frongia A., Puddu R., Fanni S., Zurru R., Satta D.</i>	147
Nuove risorse bioclimatiche per la viticoltura in Abruzzo <i>Di Lena B., Palliotti A., Giordano L., Curci G.</i>	153
Coltivazione della fragola in tunnel-serra nel Metapontino e parametri agrometeorologici <i>Lacertosa G., Quinto G. R., D'Angella F., Mennone C., Scalcione E.</i>	157
Un'analisi agrometeorologica mensile a scala nazionale sulla rivista online "PIANETA PSR" <i>Parisse B., Alilla R., Dal Monte G., De Natale F., Epifani C., Gerardi E., Esposito S., Pepe A. G., Pontrandolfi A., Cariello M., Tagliapietra M.</i>	161
Studio delle gelate tardive nell'area del Metapontino <i>Scalcione E., Dichio P., Fabrizio G., Liotti J., Lacertosa G.</i>	167

SENSIBILITÀ DELLE RESE DELLE COLTURE A VARIE RAPPRESENTAZIONI DEL SISTEMA TERRESTRE

SENSITIVITY OF CROP YIELDS TO VARIOUS EARTH SYSTEM REPRESENTATIONS

Arianna Valmassoi^{1*}, Jan D. Keller²

¹ Meteorology Institute, Dept. Geophysics, University of Bonn, Bonn, Germany

² Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany

* avalmass@uni-bonn.de

Abstract

Atmospheric numerical models and reanalyses generate valuable weather and climate information for various applications. Among these, agriculture draws considerable added value from the data provided. These data allows to create scenarios and/or ensembles to assess the compound uncertainty deriving from the climatic and plant production aspect. In this work, we use two atmospheric products and the AquaCrop model to investigate the impact and sensitivity of the agricultural production in the Po Valley, for the 2015 summer period, to both climate conditions as well as crop types and irrigation methods. The two products are a set of free simulations at 3km resolution using the Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) model, which are used as scenarios for the irrigation water requirements, and the 6-km COSMO-REA6 reanalysis, which provides an atmospheric reference dataset. The AquaCrop model is forced only with the cropland gridpoints in the Po Valley, and we test the sensitivity of the crop model to parameters such as initial soil moisture, irrigation management, soil and crop type. Preliminary results show that for wheat, the yield response depends on the meteorological input data, the COSMO-REA6 yields are higher than the ones obtained with WRF-ARW, and on the clay content in the soil. In addition, the physical ensemble of AquaCrop outputs (daily water fluxes, soil moisture and crop yield) are going to be compared with the 2015 seasonal forecast products from the Copernicus dataset.

Parole chiave

Produzione agricola, modelli atmosferici, reanalisi, Aquacrop, sensitivity

Keywords

Crop yield, numerical weather prediction models, reanalyses, Aquacrop, sensitivity

Introduction

Agriculture production depends on several factors, from the crop type to its genetics, from field management to the soil and climate conditions. The latter is becoming particularly important due to the ongoing climate change and its observed impact on food production/security, as relationship between production and climate trends is still debated (Brisson et al, 2010). It is not possible to generalize whether food production decreases in a warming climate. While there was an increase in food supply throughout the 1980-2008 period, this was not followed by a decrease in prices (Lobell et al, 2011). Lobell et al, 2011, and later Chatzopoulos et al 2019, argue that the increase in the prices was caused by specific weather events. It has been observed in fact that the recent climate warming has been very asymmetric, and the main agricultural regions have suffered stronger trends. Furthermore, the intra-annual and seasonal trends are more important than the annual ones, as several crops have specific growing periods. In fact, climate variability and its extremes account for one-third of the global crop-yield variability (Kahliuoto et al, 2018). Chatzopoulos et al 2019 and Zampieri et al, 2019 highlight how the hydrometeorological extremes, such as droughts and/or heatwaves, are crucial in

affecting the yield. Further, irrigation might have offset the crop-yield loss otherwise expected with the observed hydrometeorological extremes in the USA in the 1980-2010 period (Lobell et al., 2011; Zampieri et al, 2019). However, the expected increase in water scarcity is going to put a strain on irrigation.

Advances in atmospheric numerical models and reanalysis products are commonly used to study the Earth system and its phenomena. They allow for complete and physically-consistent representations. Several studies address the complex feedback representation of the hydrometeorological extremes (Miralles et al., 2019). Reanalyses in particular provide the best possible representation of the past climate combining numerical models and observations, through data assimilation. Thus, these data are an asset as they offer spatially and temporally dense yet physically consistent quantities, beside those that can be easily measured.

Agriculture is not only impacted by the changes in the climate, but it impacts it in return. Examples are the decrease in surface temperatures in the land conversion from forests or with the use of irrigation (e.g. Trails et al, 2013, De Angelis et al, 2010). However, atmospheric numerical

models often do not include detailed crop/land management processes, which can lead to possible biases in the atmospheric quantities.

This study aims to employ the crop-growth AquaCrop-OS model to investigate the sensitivity of the agricultural production to both climate conditions and the physical parameters.

Materials and Methods

In this work, we focus on the Po Valley with a case study in the 2015 season which comprises prolonged drought conditions and a month-long heatwave.

This study uses the AquaCrop model (FAO, ported to Python by Foster et al., 2017) to simulate crop growth and yield, forced by atmospheric models. The two atmospheric products used are the Weather Research and Forecasting (WRF-ARW, WRF hereafter) model (Skamarock et al 2008) used in Valmassoi et al. (2020) to develop and test explicit irrigation parameterizations and the COSMO-REA6 European regional reanalysis (REA6 hereafter, Bollmeyer et al. 2015), which performs well for several agricultural-relevant climatic situations such as heat and cold waves, wet and dry spells (Keller and Wahl, 2021). As the WRF simulations cover only the period May to July, REA6 is used to force the AquaCrop-OS model for the rest of the period.

The AquaCrop-OS model uses the daily average of four input fields: 2-meter minimum and maximum temperature, accumulated precipitation and reference evapotranspiration. While these are all available in the WRF simulation, REA6 does not have the reference evapotranspiration. Therefore, we calculate this parameter starting from the evapotranspiration using the β -coefficient definition of Seneviratne et al, 2010. While this is not ideal, the lack of other data made the derivation necessary.

The following AquaCrop-OS parameters are used for sensitivity simulations at all cropland grid points with potential irrigation in the Po Valley (Valmassoi et al, 2020):

- Crop type: Wheat, Maize, Rice
- Soil type: Clay, ClayLoam, Loam, LoamySand, Sand, SandyClay, SandyClayLoam, SandyLoam, Silt, SiltClay, SiltClayLoam, SiltLoam
- Soil moisture initial conditions (opt): sensitivity to range of values (1), REA6 top soil (2), REA6 soil levels and values.
- Irrigation practices (irr): Rainfed (0), Maximum daily allowance (1), daily application (2), soil moisture target (3), keeping the soil well watered (4)

As can be inferred by the sensitivity parameters, AquaCrop-OS allows to set the initial soil moisture, either using one value for all the soil levels (10 by default, here for opt in [1,2]) or for the specified levels (opt=3). In this case, we However, the high standard deviation includes parts of the simulations especially in the early summer. On average, the irrigation delays the harvest from end of June to mid-July.

employ opt=1 to understand the overall sensitivity of AquaCrop-OS to all possible settings, at steps of 0.1 between 1 and 0 (not included). Then, the first layer soil moisture from COSMO-REA6 is used as initial condition for all 10 default layers (opt=2). In the last option, we set the initial conditions from the reanalysis with REA6 soil layer depths being prescribed to AquaCrop-OS.

Irrigation practices can be represent by a wide a range of Earth System Models parameterizations, from the application of water at the surface to the soil moisture saturation (Valmassoi and Keller, 2022). In this sensitivity study, we include the rainfed (irr=0) crop-water management as baseline. With the application of a water amount at the surface, we have irr=1 or 2, which use the daily irrigation amount of 5.7 mm/day after Valmassoi et al. (2020, derived from Eurostat data). While the second irrigation method applies the water amount daily, disregarding the actual soil moisture content, the first one includes the water deficit, but applies at most the preset amount. In the irrigation methods 3 and 4, the target soil moistures are set to define irrigation (here we use values between 25 and 100 for both). In the first method (3), irrigation is triggered if the soil moisture falls below the previously defined target values, and it is applied at the surface, before computing the plant states. In the latter, irrigation is used as “net” amount, as it is applied after the canopy evaporation directly to the soil, to keep the soil moisture at the target values. The target values here are the percentage of the Total Available Water (TAW) for the crops.

For brevity’s sake we present results for AquaCrop-OS being driven by soil moisture from atmospheric products (opt in [2,3]). This leads to 2791 (WRF) and 806 (REA6) gridpoints with 504 parameter combinations each.

Results and Discussion

Earth System Feedback

Fig. 1 shows data from two atmospheric products used to force the AquaCrop model (WRF and REA6). We include the WRF simulations with the Valmassoi et al. irrigation scheme as comparison (WRF_I, in Fig. 1). As can be observed, all models similarly capture the precipitation events, but REA6 have higher amounts.

As mentioned, the soil moisture is used by AquaCrop as an initial condition, so it can be compared to the values simulated by the atmospheric products (Fig. 2). The first feature coming up in the comparison, is that as soon as planting occurs, the AquaCrop simulations (opt=2) diverge with respect to REA6. With irrigation, the AquaCrop soil moisture is clearly affected.

The high spread in the AquaCrop simulations is likely related to the different soil types and irrigation techniques, and the drop to zero highlights the harvest. First, the mean soil moisture is well below the modelled values in the atmospheric products for both AquaCrop simulations.

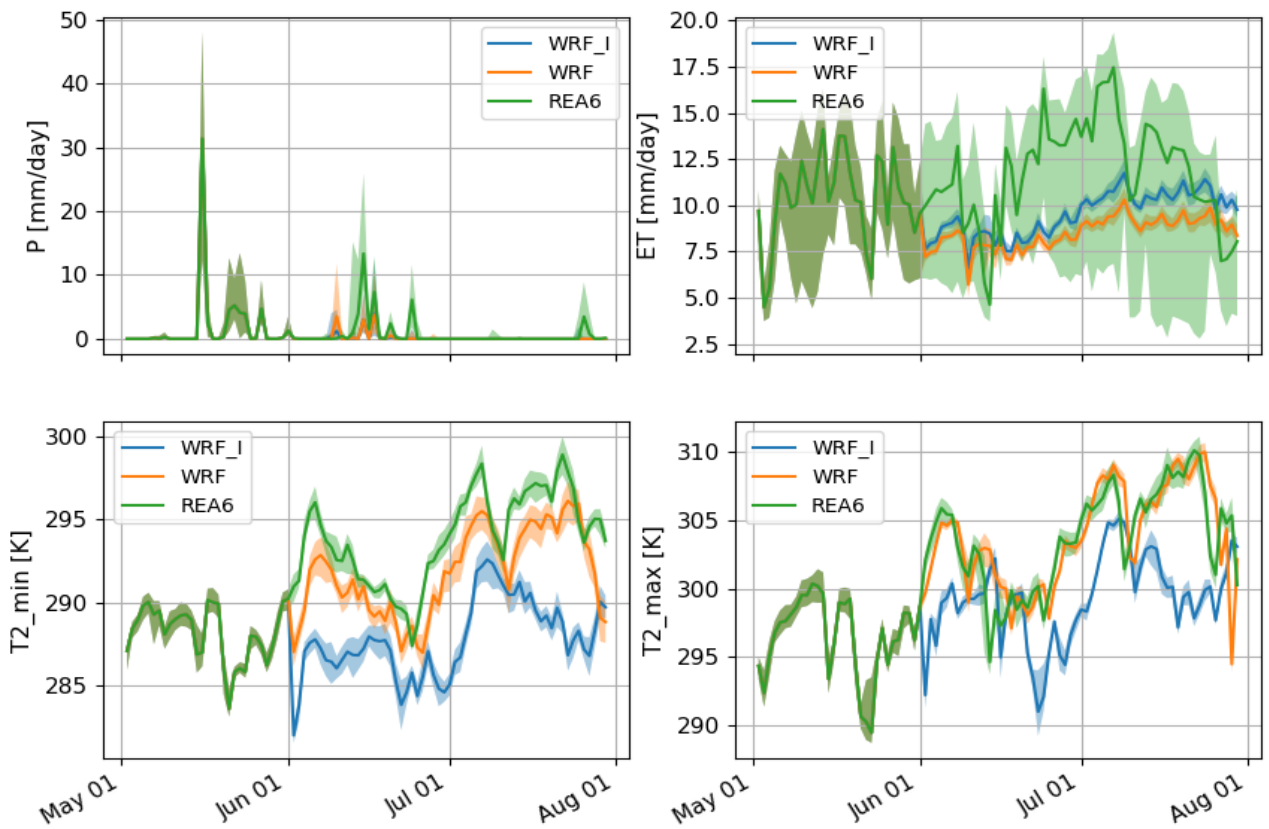


Fig. 1: Serie temporale per dati giornalieri usati come input per AquaCrop-OS, focus sul periodo estivo (Giugno e Luglio 2015).

Fig. 1 - Timeseries of daily input data for AquaCrop-OS, focus on the summer season (June and July 2015)

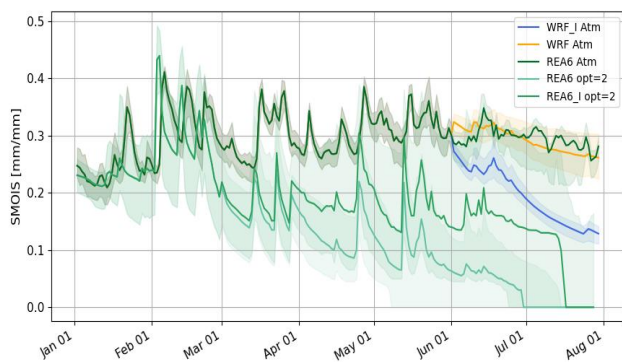


Fig. 2: soil moisture time serie for the atmospheric products, and the AquaCrop simulations forced by REA6

Fig. 2: serie temporali dell'umidità del suolo per i prodotti atmosferici e le simulazioni AquaCrop forzate da REA6
Yield results

However, in the non-irrigated simulations, the harvest can take place in early July or even in May, which is less likely. Fig 3. shows the sensitivity of the yield by crop type aggregated over all grid points and all other parameters. It can be seen that the number of points differs due to the WRF simulations and the REA6 due to the different spatial resolution, 3 and 6 km respectively. The negative bin in the histograms indicates fail in the yield, and it is generally lower for all crops when the soil initial state is provided by the atmospheric products (opt=3). As expected, the yield fail with rice crops is higher related to the localization of rice cultivation within the Po Valley as well as the wide variety of parameters tested. Overall, wheat has the highest yields with the maximum over the tested conditions in the simulations forced by WRF_I and REA6. However, this is not the case for the highest yields for maize and rice.

Irrigation sensitivity

We found that the irrigation water applied for the whole season is generally similar with a shift to larger water use with the third option (Fig.4).

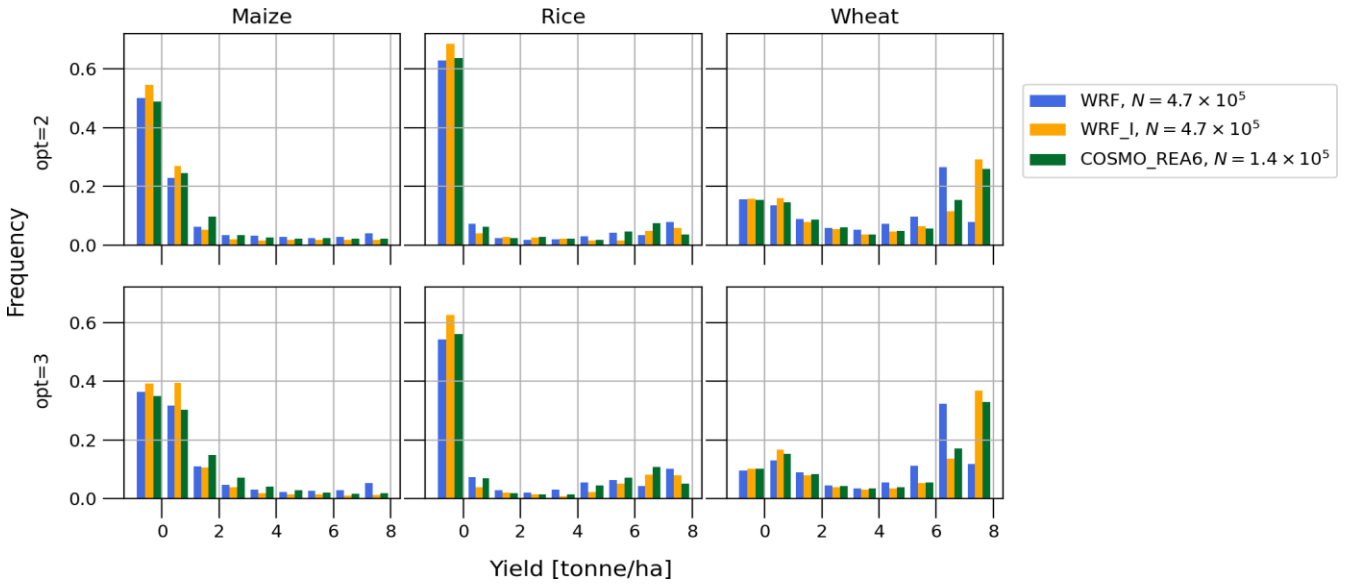


Fig. 3: Yield frequency distribution for option 2 (upper panel) and 3 (lower), and the three crops simulated.

Fig. 3: Distribuzione della frequenza della resa per l'opzione 2 (riquadro superiore) e 3 (inferiore) e le tre colture simulate

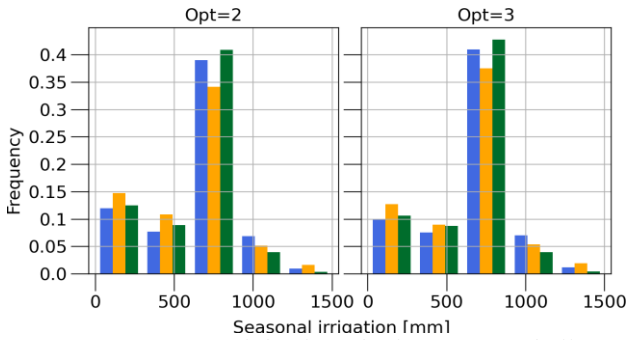


Fig. 4: Irrigation total depth for both options and all forcing, the bar's color is the same as Fig. 3

Fig. 4: Profondità totale di irrigazione per entrambe le opzioni e tutte le forzature, il colore della barra è lo stesso della Fig. 3

As expected, the simulations forced by the WRF irrigated run lead to lower irrigation depths needed. However, the irrigation is not expected to be zero, as the AquaCrop simulations develop from the REA6 soil initial conditions. This includes the potential irrigation amount needed before the start of the WRF simulation.

Conclusions

In this work we highlight the yield sensitivity to the climatic conditions and soil/crop parameters, as well as the potential impact of an explicit crop-growth and irrigation representation to the soil moisture parameters.

The atmospheric products used as forcing differ in their state representation, but it is mainly due to the already included irrigation representation in WRF_I. The main difference between the two data sets, which do not include explicit irrigation, is the reference evapotranspiration.

When comparing the soil moisture time series from the atmospheric models and the AquaCrop simulations, we clearly find that REA6 overestimates soil moisture throughout the period.

In terms of sensitivity of the AquaCrop model, the results indicate that the application of irrigation helps to mitigate the soil moisture decrease in the early spring, and sustains it during the July heatwave, as is to be expected. Without irrigation, most of the simulations need to have an early harvest (median early July) or suffer crop-failure.

We find that the yield results depend strongly on the crop type, with wheat leading to the highest values. The simulations forced with REA6 and WRF_I (with explicit irrigation) generally produces higher yields than the ones obtained using WRF only (without irrigation).

Future work is going to include the 2015 seasonal forecast computation, and the investigation of the yield dependency based on the clustering of the AquaCrop parameters.

References

- Bollmeyer C., Keller J. D., Ohlwein C., Wahl S., Crewell S., Friederichs P., Hense A., Keune J., Kneifel S., Pscheidt I., Redl S., Steinke S., 2015. Towards a high-resolution regional reanalysis for the European CORDEX domain, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 141(686). 1–15.
- commodity markets: A global economic analysis of regionally simulated events, *Weather and Climate Extremes* p. 14.
- Deangelis A., Dominguez F., Fan Y., Robock A., Kustu M. D., Robinson D., 2010. Evidence of enhanced precipitation due to irrigation over the Great Plains of the United States, *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 115(15). D15115.
- Foster T., Brozovic, N. Butler A. P., Neale C. M., Raes D., Steduto P., Fereres E., Hsiao T. C., 2017. AquaCrop-OS: An open source version of FAOs crop water productivity model, *Agricultural Water Management* 181, 18–22.
- Kahiluoto H., Kaseva J., Balek J., Olesen J. E., Ruiz-Ramos M., Gobin A., Kersebaum K. C., Takac J., Ruget F., Ferrise R., Bezak P., Capellades G., Dibari C., Makinen H., Nendel C., Ventrella D., Rodriguez A., Bindi M. and Trnka M., 2018. Decline in climate resilience of European wheat, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(1). 201804387.
- Keller J. D., Wahl S., 2021. Representation of climate in reanalyses: An intercomparison for Europe and North America, *Journal of Climate* 34(5). 1667–1684.
- Lobell D. B., Schlenker W., Costa-Roberts J., 2011. Climate trends and global crop production since 1980., *Science* 333(6042). 616–20.
- Miralles D. G., Gentile P., Seneviratne S. I., Teuling A. J., 2018. Land-atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges, *Annals of the New York Academy of Sciences* 1436(1). 19–35.
- Skamarock W., Klemp J., Dudhi J., Gill D., Barker D., Duda M., Huang X.Y., Wang W., Powers J., 2008. A Description of the Advanced Research WRF Version 3, Technical Report, June. 113.
- Trail M., Tsimpidi A. P., Liu P., Tsigaridis K., Hu Y., Nenes A., Stone B., Russell A. G., 2013. Potential impact of land use change on future regional climate in the Southeastern U.S.: Reforestation and crop land conversion, *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 118(20). 11577–11588.
- Valmassoi A., Dudhia J., Di Sabatino S., Pilla F., 2020. Evaluation of three new surface irrigation parameterizations in the WRF-ARW v3.8.1 model: the Po Valley, Italy) case study, *Geoscientific Model Development* 13(7). 3179–3201.
- Zampieri M., Ceglar A., Dentener F., Dosio A., Naumann G., Van Den Berg M., Toreti A., 2019. When will current climate extremes affecting maize production become the norm?, *Earths Future*
- Brisson N., Gate P., Gouache D., Charmet G., Oury F. X., Huard, F., 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France, *Field Crops Research* 119(1). 201–212.
- Chatzopoulos T., Perez Dominguez I., Zampieri M., Toreti A., 2019. Climate extremes and agricultural

ANALISI DEI FLUSSI DI RESPIRAZIONE DEL SUOLO IN UN AGRUMENTO SOTTOPOSTO A DIFFERENTI PRATICHE IRRIGUE E DI GESTIONE DEL SUOLO

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOIL RESPIRATION IN A CITRUS ORCHARD UNDER DIFFERENT SOIL AND WATER MANAGEMENT PRACTICES

Serena Guarrera^{1*}, Gaetano Giudice², Daniela Vanella³, Simona Consoli³, Mirco Milani³, Domenico Longo³

¹Ph.D. Scholar, International Doctorate in Agricultural, Food and Environmental Science—Di3A—University of Catania, Catania 95124, Italy

²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania, Osservatorio Etneo (INGV-OE), Piazza Roma 2, 95125, Catania.

³Department of Agriculture, Food and Environment of University of Catania (Di3A-UniCT), Via S. Sofia, 100, Catania 95123, Italy

*serena.guarrera@phd.unict.it

Abstract

The role of soil carbon dioxide (CO₂) is difficult to be quantified, being mainly dominated by soil microbial biomass and plant roots activity. The purpose of this study was to compare the CO₂ flux rates obtained by carrying-out soil respiration measurements with an *ad hoc* designed accumulation chambers in an orange orchard subjected to different irrigation regimes (full irrigation, FI, and regulated deficit irrigation, RDI) and soil management practices (bare soil *versus* organic mulching cover). Preliminary results showed that the CO₂ activity was greater in the treatments subjected to FI than RDI strategies under both bare soil and organic mulching, showing average values of $0.10 \pm 0.01 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and $0.08 \pm 0.01 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and $0.10 \pm 0.03 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and $0.08 \pm 0.03 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectively.

Parole chiave

Flussi di anidride carbonica – respirazione del suolo – pacciamatura organica – strategie di irrigazione

Key word

Carbon dioxide fluxes – soil respiration – organic mulching – irrigation strategies

Introduction

In most agro-ecosystems, soil respiration (SR) is a complex process that is descriptive of soil activity in terms of soil carbon dioxide (CO₂) release (Sagi et al., 2021). The gas flux from soil/atmosphere interface is attributed to several phenomena that occurs at the soil level, and it can be time-varying. In addition, a fraction of the CO₂ flux cannot directly correlated to agricultural activities deriving from deep geological activity.

SR is defined as the combination of two biological sources: (i) the autotrophic respiration by plant roots and associated microorganisms (i.e., rhizosphere respiration), and (ii) the heterotrophic respiration, via microbial decomposition of soil organic matter (Hanson et al. 2000; Högberg and Read 2006; Ryan and Law 2005). In this sense, a fraction of CO₂ flux is related to root microbiome and mycorrhizae activity in rhizosphere. In the latter, fungi and bacteria establish a mutual symbiotic association with crop roots. Specifically, using root exudates, they can survive and reproduce in rhizosphere while providing nutrients (mainly nitrogen-based molecules) to the plants and releasing CO₂ (Vives-Peris et al., 2020; Girkin et al. 2018). The other CO₂ flux fraction is related to processes that occurs in the first few centimetres of the soil depth, due to leaves litter decomposition or soil management operations, as soil tilling. SR depends on many different parameters seasonally time-varying, such as soil texture, soil compaction, roots density,

available soil organic matter, soil temperature, pH, soil water content (SWC) (Wang et al. 2016).

Moyano et al. (2012) showed that the relationship between soil heterotrophic respiration and soil moisture is consistently affected by soil texture and other properties (e.g., soil bulk density and soil organic carbon). The relationship between SWC and SR is also strongly related to soil texture. Many studies have shown that no single factor can fully explain SWC variation (Holsten et al., 2009).

The proportion of SR from autotrophic and heterotrophic contributions may vary annually and seasonally among the terrestrial ecosystems (Hanson et al. 2000). Across a range of studies, the heterotrophic contribution varied from 10 to 95%, and averaged 54% annually and 40% during the growing season (Hanson et al. 2000). The SR is the main pathway for carbon moving from the agro-ecosystem to the atmosphere (Ryan et al., 2005; Hou et al., 2021) and represents a major flux in the global CO₂ cycle (Vargas et al. 2010). Small changes in SR can also have a significant impact on atmospheric CO₂ concentrations at the global level.

The accurate quantification of CO₂ emissions through SR is of great significance for understanding climate change and the CO₂ cycle (Hou et al., 2021). Because, as above-mentioned, soil autotrophic and heterotrophic activity is controlled by substrate availability, the SR is strongly linked to plant metabolism, photosynthesis and leaves litter fall. This link dominates both base rates and short-term

fluctuations in SR and suggests many roles for SR as an indicator of ecosystem metabolism (Ryan et al., 2005). SR and soil processes are linked, but their understanding can be complicated (Ryan et al., 2005). In general, photosynthesis supplies carbon substrate for root metabolism and growth, and a decrease in substrate supply may decrease SR within days (Högberg et al. 2001). In addition to this direct effect, the fraction of photosynthesis may vary as function of nutrition (Giardina et al. 2003), water availability (Stape 2002), and phenology. These effects are furthermore influenced under heterogeneous agro-systems in Mediterranean climate conditions. In this sense, Consoli et al. (2014) highlighted the role of the orchard system in sequestering atmospheric CO₂. Additionally effects on CO₂ in these contexts are dependent on the agronomic practices applied in situ.

Sustainable soil and water management practices have been applied in this study by combining the regulated deficit irrigation strategy (RDI) with the use of organic mulching. In particular, a water shortage can affect the performance of soil microbial communities in natural ecosystems at the level of microbial growth and biomass (Meisner et al., 2013), microbial composition (Hawkes et al., 2011; Placella et al., 2012), and biogeochemical cycles (Goransson et al., 2013; Placella et al., 2012). However, the concrete effect of RDI on soil microbial communities in agro-systems has been poorly studied. Bastida et al. (2017) reported that RDI had a negative impact on the soil microbial biomass and enzyme activities in a grapefruit orchard, with a slow-down of organic matter decomposition under deficit irrigation condition. In addition, the use of organic mulching often contains soluble organic matter and nutrients that may benefit the development and activity of the soil microbial community (Adrover et al., 2012; Chevremont et al., 2013), with potential changes in its composition (Bastida et al., 2017; Zolti et al., 2019).

This study focuses on understanding the separate and combined effects of the application of deficit irrigation regime (RDI) and organic mulching, in semiarid Mediterranean conditions, on SR. Further measurements of CO₂ fluxes in the soil are planned to be compared with the in-situ CO₂ fluxes measured by an Eddy Covariance tower to distinguish the role of plant contribution to the overall CO₂ flux.

2. Material and methods

2.1 Study site description

The study was conducted in an experimental orange orchard (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, Tarocco Sciara grafted on *Carrizo citrange Poncirus trifoliata* (L.) Raf. × *C. sinensis* (L.) Osbeck), managed by the Italian Council for Agricultural Research and Agricultural Economics Analyses (CREA-OFA, Acireale). The study site is located in the insular part of Italy (eastern Sicily, Lentini, SR, 37° 20' 12.65" N, 14° 53' 33.04" E, WGS84, Figure 1) and characterized by semi-arid

Mediterranean climate, with warm and dry summers. During the years 2010–21, the mean air temperature, annual precipitation and reference evapotranspiration values were about 18.2°C, 587 mm and 1264 mm, respectively (data provided by a weather station located about 2 km far from the study site and managed by Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano, SIAS).

The experimental design at the study site provided the integration of soil sustainable and water management practices by RDI (i.e. water deficits supplied during specific phenological phases, when crops are less sensitive to water stress, without affecting yield and quality features, Romero-Trigueros et al., 2017; Saitta et al., 2021) and organic mulching (crop residues from pruning and weeds) practices, as in the follows:

- FI Bare, fully irrigated treatment (FI), where irrigation rate is 100% of ET_c in bare soil condition.
- FI Mulch, fully irrigated treatment (FI), where irrigation is 100% of ET_c in organic mulching condition.
- RDI Bare, irrigated at 100% of ET_c, except for the II phenological stage (i.e., fruit growth) when irrigation corresponds to 50% of ET_c in bare soil condition.
- RDI Mulch, irrigated at 100% of ET_c, except for the II phenological stage (i.e., fruit growth) when irrigation corresponds to 50% of ET_c with organic mulching condition.

The study site was equipped with an Eddy Covariance (EC) tower located at 7 m above the ground (two times the canopy height). The EC system was equipped by a three-dimensional sonic anemometer (CSAT3-3D, Campbell Scientific Inc.) and an infrared open-path gas analyzer (Li-7500, Li-cor Biosciences Inc.) to obtain high frequency (10 Hz) measurements of the three wind components and the H₂O and CO₂ concentrations, respectively. Low frequency data (30-min) were obtained for: net radiation (R_n, W m⁻², net radiometer CNR-1 Kipp & Zonen located 7 m above the ground) and soil heat flux (G, W m⁻²) identified by self-calibrated soil heat flux plates (HFP01SC, Hukseflux) placed in the exposed, half-exposed and shadowed soil, at about 0.05 m of depth. High and low frequency data were recorded by a CR1000 logger (Campbell Scientific Inc.). The standard EUROFLUX rules (Aubinet et al., 2000) were adopted for EC measurements and data processing. Common errors in the measured high frequency data, such as running means for detrending, three angles coordinate rotations and despiking, were removed during the post processing by quality checks (Vanella & Consoli, 2018).

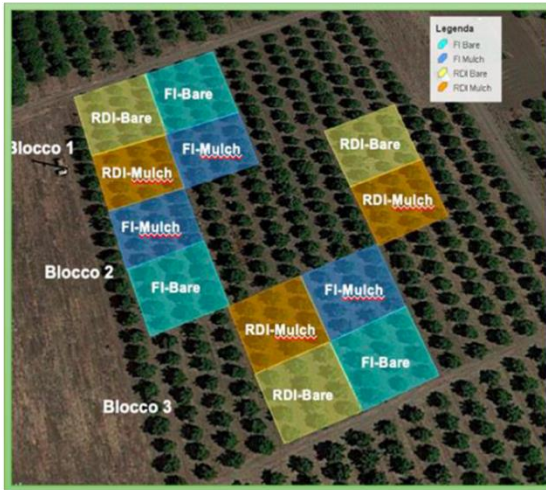


Fig. 1. Experimental treatments at the study area
Fig. 1. Schema dei trattamenti sperimentali

2.2 Soil respiration measurements

The most common approach to measure the SR is based on the use of static accumulation chamber (Ceccon, et al., 2010). There are different commercial instruments available, like LI-COR LI-8100 or Li-COR LI-6800 or the Portable soil Fluxmeter from WEST Systems. While they can be suitable for research use, their cost cannot be often affordable for those farms that wish to implement Precision Agriculture techniques, using multiple chambers. In this study, during the month of December 2021, SR measurements were conducted on the treatments under study using an accumulation chamber.

2.2.1 Accumulation chamber set-up

An *ad hoc* low-cost accumulation chamber is under development and design by the researchers of INGV and UniCT. The camera prototype is already in use for the SR measurements. The chamber (based also on the research of Chiodini, et al. 1998) it is suitable to be left on site for several days and will also allow to take measurements on saturated soil, or when it will be equipped with a float even on the water surface.

To guarantee soil seal and limit wind adverse effect, a collar semi-buried in soil can be used. Long-term data collection campaign may not be recommended because the prolonged presence of the chamber can modify soil behaviour.

The accumulation chamber in use in our experiment was made by non-transparent PVC (i.e., photosynthetic activity inside the chamber was not considered) with a cylindrical shape, with 10 cm and 20 cm of height and diameter, respectively (Figure 2a).

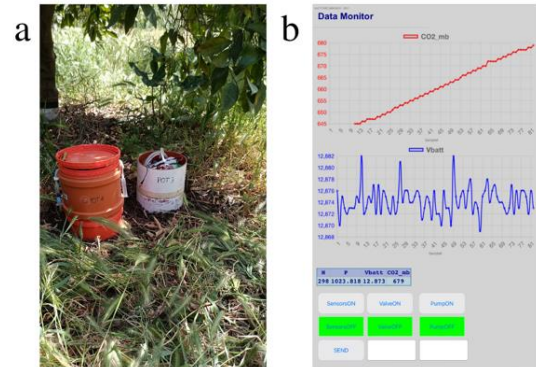


Fig. 2. Accumulation chamber (a) and the data monitor on board the logger (b).

Fig. 2. Camera di accumulo (a) e visualizzazione dei dati attraverso il logger (b).

The chamber was atmospheric pressure-compensated by a small vent, designed to limit the Venturi effect due to wind. On the top of the chamber, another similar PVC cylinder hosted the electro-pneumatic sub-systems, the IR gas analyser (IRGA) and a data logger. Each measurement cycle started with a chamber cleaning phase in which a high rate of fresh air from atmosphere is pumped inside for few minutes in order to remove CO₂ accumulation. Exhaust air is discarded into the atmosphere. At the end of the cleaning phase, a valve sealed the chamber and the accumulating gas inside is pumped into the IRGA at a low rate and then put back into the chamber. This allowed for gas mixing, to prevent stratification, inside the chamber, without the need of mechanical fan. In order to avoid non-linear accumulation rate inside the chamber, the measurement cycle was limited to 300 s. The concentration data, in ppm, was stored on the on board data logger, while they can be accessed in real time by means of a WiFi connection. In this sense, a smartphone with an available web browser can be used. The system provided a suitable-developed Javascript web application in which concentration data (with air temperature, pressure and others parameters) are shown in real time graphs (Figure 2b).

2.2.2 Data processing and comparison with CO₂ turbulent fluxes

A Matlab tool was designed to process the accumulation chamber CO₂ concentration time series in CSV format. Due the short sampling time (300 s), a modified linear regression model was used. The RANSAC algorithm, that is able to automatically discard data in the initial dead-band (mainly due to internal pneumatic dead volumes) and different other kind of noises in time series, was used.

For the comparison between the CO₂ flux measurements of the soil and the turbulent CO₂ fluxes measured by the EC system, the WINDTRAX software has been identified and will be applied in the near future. This software takes into account the micrometeorological variables allowing to translate the measured CO₂ fluxes on the soil at the height of the EC (h = 7 m) in order to have up scaled and comparable data. To discriminate the soil component from the CO₂ fluxes of EC, we will use the integrated measurement approach in which a Lagrangian stochastic model (LS) is applied to simulate the transport of CO₂ from single or composite sources. Based on meteorological parameters, the LS model will allow to determine unknown CO₂ emission rates from sources but also, vice versa, to find the distribution of CO₂ concentration from known or measured CO₂ emissions from sources (Federico, C. et al., 2019).

3. Results and discussion

The preliminary results achieved in this study using the *ad hoc* accumulation chamber showed that the CO₂ activity was greater in the treatments subjected to FI than to RDI strategies under bare soil, showing average values of 0.10 (± 0.01) mg m⁻² s⁻¹ and 0.08 (± 0.01) mg m⁻² s⁻¹, respectively. Greater CO₂ fluxes were also observed at FI under organic mulching condition, showing average values of 0.10 (± 0.03) mg m⁻² s⁻¹ and 0.08 (± 0.03) mg m⁻² s⁻¹, respectively (Figure 3).

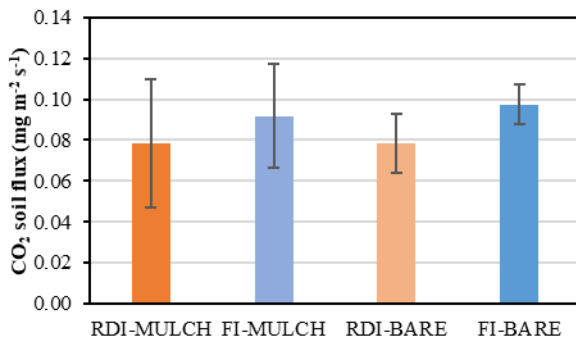


Fig. 3. Measured CO₂ fluxes
Fig. 3. Flussi misurati di CO₂

The effects on CO₂ fluctuations due to different SWC conditions were also observed by other authors (Flechard et al. 2007, Jassal et al. 2005, Maier et al. 2010). These evidences were interpreted as the result of the stimulation and intensification of biological activity in the soil and the decrease in diffusivity of the topsoil due to SWC changes (Borken et al., 2003, Lee et al., 2004). Hou et al. (2021) recognized the SWC as the main controlling factor on CO₂ in tree orchards supplied by drip irrigation. Moreover, these authors highlighted the importance of evaluating the role of the adoption of different agricultural practices on the temporal and spatial variations of SR fluxes. However, the discussion of the results of this study is still limited due to the

few dataset collected, since it refers to a single month of observation.

4. Conclusion

In this study, the effects of different irrigation strategies and soil management practices have been investigated by measuring soil CO₂ fluxes using an accumulation chamber. Even if the preliminary results of this study are in agreement with literature, in which a greater CO₂ activity in well irrigated soils is detected in comparison to lower irrigated soil conditions; further analyses are needed to corroborate these findings and to upscale the CO₂ fluxes at the EC soil-plant-atmosphere level.

5. References

- Adrover M., Farrús E., Moyà G., Vadell J., 2012. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. *Journal of environmental management*, 95, S188-S192.
- Aubinet M., Rannik U., Snijders W., Valentini R., Vesala T., 2000. Exchange of forests: The Euroflux methodology.
- Bastida F., Torres I. F., Romero-Trigueros C., Baldrian P., Větrovský T., Bayona J. M., ... & Nicolás, E., 2017. Combined effects of reduced irrigation and water quality on the soil microbial community of a citrus orchard under semi-arid conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 226-237.
- Borken W., Davidson E.A., Savage K., Gaudinski J., Trumbore S.E., 2003. Drying and wetting effects on carbon dioxide release from organic horizons. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 1888–1896.
- Ceccon C., Panzacchi P., Scandellari F., Prandi L., Ventura M., Russo B., ... & Tagliavini M., 2011. Spatial and temporal effects of soil temperature and moisture and the relation to fine root density on root and soil respiration in a mature apple orchard. *Plant and Soil*, 342(1), 195-206.
- Chevremont A. C., Boudenne J. L., Coulomb B., Farnet A. M., 2013. Impact of watering with UV-LED-treated wastewater on microbial and physico-chemical parameters of soil. *Water research*, 47(6), 1971-1982.
- Chiodini G., Cioni R., Guidi M., Raco B., Marini L., 1998. Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas. *Applied Geochemistry*, 13(5), 543-552.
- Consoli S., Facini O., Nardino M., Rossi F., 2014. Carbon balance and energy fluxes of a Mediterranean crop. *Italian Journal of Agrometeorology*, 19 (3), 15 – 24.
- Federico C., Liuzzo M., Giudice G., Capasso G., Pisciotta A., Pedone M., 2019. Variations in CO₂ emissions at a mud volcano at the southern base of Mt Etna: are they due to volcanic activity interference or a geyser-like mechanism? *Bulletin of Volcanology*, 81(1), 1-18.
- Flechard C., Neftel A., Jocher M., Ammann C., Leifeld J., Fuhrer J., 2007. Temporal changes in soil pore space CO₂ concentration and storage under permanent grassland. *Agric. For. Meteorol.* 142, 66–84.

- Giardina C. P., Ryan M. G., Binkley D., Fownes J. H., 2003. Primary production and carbon allocation in relation to nutrient supply in a tropical experimental forest. *Global Change Biology*, 9(10), 1438-1450.
- Girkin N. T., Turner B. L., Ostle N., Craighon J., Sjögersten S., 2018. Root exudate analogues accelerate CO₂ and CH₄ production in tropical peat. *Soil Biology and Biochemistry*, 117, 48-55.
- Göransson H., Godbold D. L., Jones D. L., Rousk J., 2013. Bacterial growth and respiration responses upon rewetting dry forest soils: impact of drought-legacy. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 477-486.
- Hanson P. J., Edwards N. T., Garten C. T., Andrews J. A., 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry*, 48(1), 115-146.
- Hawkes C. V., Kivlin S. N., Rocca J. D., Hugué V., Thomsen M. A., Suttle K. B., 2011. Fungal community responses to precipitation. *Global Change Biology*, 17(4), 1637-1645.
- Högberg P., Nordgren A., Buchmann N., Taylor A. F., Ekblad A., Höglberg M. N., ... & Read D. J., 2001. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature*, 411(6839), 789-792.
- Högberg P., Read D. J., 2006. Towards a more plant physiological perspective on soil ecology. *Trends in ecology & evolution*, 21(10), 548-554.
- Holsten A., Vetter T., Vohland K., Krysanova V., 2009. Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with a focus on nature conservation areas. *Ecological Modelling*, 220(17), 2076-2087.
- Hou T., Wang Y., Guo F., Jia Q., Wu X., Wang E., Hong J., 2021. Soil Respiration Characteristics and Influencing Factors for Apple Orchards in Different Regions on the Loess Plateau of Shaanxi Province. *Sustainability*, 13(9), 4780.
- Jassal R., Black A., Novak M., Morgenstern K., Nestic Z., Gaumont-Guay D., 2005. Relationship between soil CO₂ concentrations and forest-floor CO₂ effluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130(3-4), 176-192.
- Lee X., Wu H., Sigler J., Oishi C., Siccama T., 2004. Rapid and transient response of soil respiration to rain. *Global Change Biol.* 10, 1017-1026.
- Maier M., Schack-Kirchner H., Hildebrand E. E., Holst J., 2010. Pore-space CO₂ dynamics in a deep, well-aerated soil. *European Journal of Soil Science*, 61(6), 877-887.
- Meisner A., Bååth E., Rousk J., 2013. Microbial growth responses upon rewetting soil dried for four days or one year. *Soil Biology and Biochemistry*, 66, 188-192.
- Moyano F. E., Vasilyeva N., Bouckaert L., Cook F., Craine J., Curiel Yuste J., ... & Chenu C., 2012. The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties. *Biogeosciences*, 9(3), 1173-1182.
- Placella S. A., Brodie E. L., Firestone M. K., 2012. Rainfall-induced carbon dioxide pulses result from sequential resuscitation of phylogenetically clustered microbial groups. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(27), 10931-10936.
- Ryan M. G., Law B. E., 2005. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry*, 73(1), 3-27.
- Romero-Trigueros C., Parra M., Bayona, J. M. Nortes, P. A., Alarcón J. J., Nicolás E., 2017. Effect of deficit irrigation and reclaimed water on yield and quality of grapefruits at harvest and postharvest. *LWT-Food Science and Technology*, 85, 405-411.
- Sagi N., Zaguri M., Hawlena D., 2021. Soil CO₂ influx in drylands: A conceptual framework and empirical examination. *Soil Biology and Biochemistry*, 156, 108209.
- Saitta D., Consoli S., Ferlito F., Torrisi B., Allegra M., Longo-Minnolo G., ... & Vanella D., 2021. Adaptation of citrus orchards to deficit irrigation strategies. *Agricultural Water Management*, 247, 106734.
- Stape J. L., 2002. Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in northeastern Brazil. Colorado State University.
- Vanella D., Consoli S., 2018. Eddy covariance fluxes versus satellite-based modelisation in a deficit irrigated orchard. *Ital. J. Agrometeorol*, 2, 41-52.
- Vargas R., Baldocchi D. D., Allen M. F., Bahn M., Black T. A., Collins S. L., ... & Tang J., 2010. Looking deeper into the soil: biophysical controls and seasonal lags of soil CO₂ production and efflux. *Ecological Applications*, 20(6), 1569-1582.
- Vives-Peris V., de Ollas C., Gómez-Cadenas A., Pérez-Clemente R. M., 2020. Root exudates: from plant to rhizosphere and beyond. *Plant cell reports*, 39(1), 3-17.
- Wang R., Wang Z., Sun Q., Zhao M., Du L., Wu D., ... & Guo S., 2016. Effects of crop types and nitrogen fertilization on temperature sensitivity of soil respiration in the semi-arid Loess Plateau. *Soil and Tillage Research*, 163, 1-9.
- Zolti A., Green S. J., Mordechay E. B., Hadar Y., Minz D., 2019. Root microbiome response to treated wastewater irrigation. *Science of the Total Environment*, 655, 899-907.

UNA PIATTAFORMA PER LA MODELLIZZAZIONE DELL'IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUL FABBISOGNO IDRICO LOCALE E REGIONALE

A MODELLING PLATFORM FOR CLIMATE CHANGE IMPACT ON LOCAL AND REGIONAL CROP WATER REQUIREMENTS

Sara Masia^{1,2,3*}, Antonio Trabucco^{2,3}, Donatella Spano^{2,3}, Richard L. Snyder⁴, Janez Sušnik¹, Serena Marras^{2,3}

¹ Land and Water Management Department, IHE Delft Institute for Water Education, Westvest 7, 2611 AX Delft, The Netherlands

² Department of Agriculture, University of Sassari, Viale Italia, 39, 07100 Sassari, Italy

³ CMCC Foundation – Euro-Mediterranean Centre on Climate Change, IAFES Division, Viale Italia 39, 07100 Sassari, Italy

⁴ Land, Air and Water Resources Department, University of California, One Shields Ave., Davis, CA 95616, USA

*Corresponding author: s.masia@un-ihe.org

Abstract

In this work, the Simulation of Evapotranspiration of Applied Water (SIMETAW#) model is implemented in R programming language with two new versions able to estimate crop water consumption, irrigation demand and scheduling at local (SIMETAW_R) and regional scale (SIMETAW_GIS platform) using extensive climate and environmental geospatial datasets. SIMETAW_R was validated in ten experimental sites, and SIMETAW_GIS performance in Mediterranean countries was assessed by estimating the impact of climate change on maize, wheat, and wine grape water requirements in the past (1976-2005) and future climate conditions (2036-2065), under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. Results show that in Mediterranean countries, maize, wheat, and grape production will require on average about 13%, 16%, and 10% more water, respectively, under future climate. The tool offers new analytical skills for water resources management planners for improved decision-making.

Parole chiave:

Fabbisogno idrico delle colture, evapotraspirazione, modello SIMETAW, modellizzazione spaziale, scarsità idrica, RCP.

Keywords:

Crop water requirements, evapotranspiration, SIMETAW model, spatial modeling, water scarcity, RCPs.

Introduction

Climate change is one of the most important challenges in the 21st century. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) stated that climate-related hazards will worsen in the coming decades with significant variations in the Earth's climate (IPCC, 2013; IPCC 2018a). Rising greenhouse gas (GHG) concentration in the atmosphere is causing strong changes in the hydrological cycle (IPCC, 2014; Kleidon and Renner, 2018) that are expected to intensify by the end of the century when high flood frequency and perennial drought may characterize large areas (IPCC, 2018b; EEA 2019).

Climate models foresee non-uniform variation in global hydrological cycles. An increase in annual precipitation is foreseen in Northern Europe whereas a strong reduction in the number of rainy days with a consequent higher risk of drought periods is predicted in central Europe and Mediterranean areas (IPCC, 2013). Water scarcity is expected to increase worldwide, and this trend will be exacerbated not only by climate change but also by

demographic growth, socio-economic development, increasing demand for raw materials and energy, extension of residential centres, as well as improvement of quality of life and technology (Brooks, 2012). Increasing competition for water resources, threatening a sustainable balance between water demand and supply, is expected to worsen water scarcity globally, with the Mediterranean expected to be a water scarcity 'hotspot' (Giorgi 2006; OECD, 2017; Cramer 2018).

There is a growing need for coupled models that are able to estimate and forecast atmosphere-soil-water-crop-irrigation interactions at different temporal and spatial scales to improve water system management.

The Simulation of Evapotranspiration of Applied Water model (SIMETAW# model; Mancosu et al., 2016) is used to estimate the daily reference, well-watered crop, and actual evapotranspiration (ET_o , ET_c , ET_a), the evapotranspiration of applied water (ET_{aw}), the irrigation schedule, and crop growth and yield for a specific site. In this work, SIMETAW# was implemented using the R platform

(SIMETAW_R) to estimate crop consumption and irrigation requirements at local scale.

The new tool was then integrated into a GIS spatial platform under R, thus named SIMETAW_GIS, which couples and processes different geospatial climate and environmental data and reiterates simulations over regional scales. The aim of this paper is to introduce and demonstrate both new SIMETAW# versions (-R and -GIS) and to highlight their combined value for water resources planning and management under expected climate change conditions in the Mediterranean region.

Materials and Methods

SIMETAW_R and SIMETAW_GIS model description

Two new versions of SIMETAW#, (Mancosu et al., 2016) are introduced, described, and tested in this work. The new versions are able to perform at local (i.e. site specific) “SIMETAW_R” and wider spatial scale “SIMETAW_GIS” (Figure 1). Full details of the original SIMETAW# model is found in Mancosu et al. (2016).



Fig. 1. Scheme of SIMETAW_GIS platform.

Fig. 1. Schema della piattaforma SIMETAW_GIS.

The SIMETAW_R modelling scheme, designed for site-specific applications, was validated at ten experimental sites. It was subsequently implemented for spatially distributed applications using GIS libraries available in R within the spatial platform named SIMETAW_GIS (Figure 1). The spatial platform couples and automates interactions with large geodata sets of climate variables, environmental conditions, and agronomic practices, to process the soil water balance for multiple years and pixels across regional and continental scales. SIMETAW_GIS was tested by running regional simulation of water consumption and net water application in the Mediterranean domain under past (1976-2005) and future (2036-2065) climate conditions, under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. Both versions were tested for grape, maize, and wheat.

SIMETAW#/R/GIS are daily crop-soil-water balance models developed to compute the reference evapotranspiration (ET_o), the crop evapotranspiration (ET_c), the actual evapotranspiration (ET_a), irrigation applications (NA), the

evapotranspiration of applied water ($ET_{aw} = \sum NA$), and irrigation scheduling.

Further details about the model can be found in Masia et., 2021.

Results

SIMETAW_R model performance in estimating actual evapotranspiration at local scale

SIMETAW_R was validated at ten European sites selected through the international FLUXNET network (<http://fluxnet.fluxdata.org/>). In general, the model performance was good for all the experimental sites. The promising ability of the model to estimate crop water consumption is confirmed by a mean r equal to 0.80, which was statistically significant at each site ($P \leq 0.001$). Furthermore, the mean $RMSE$ is equal to 0.99 mm, mean MBE to 0.36 mm, mean MBA to 0.77 mm, and mean AI to 81%, demonstrating high modelling performance for estimating ET_a . Some differences between measured and modelled data were attributed to rainy conditions during LE measurements that can reduce sensor accuracy when measuring LE fluxes (Burba, 2013), even after quality check controls are performed. In this work, the energy balance closure from available half-hourly data was acceptable with the mean slope of 0.75 and with the mean R^2 equal to 81% showing a good reliability of the eddy covariance measured data.

In addition, the measured data accuracy is shown by a mean r of 0.84 between LE and LE' . The statistics indicate that the SIMETAW_R model fits the observed data reasonably well, and could be used for predictive analysis for agricultural water management purposes.

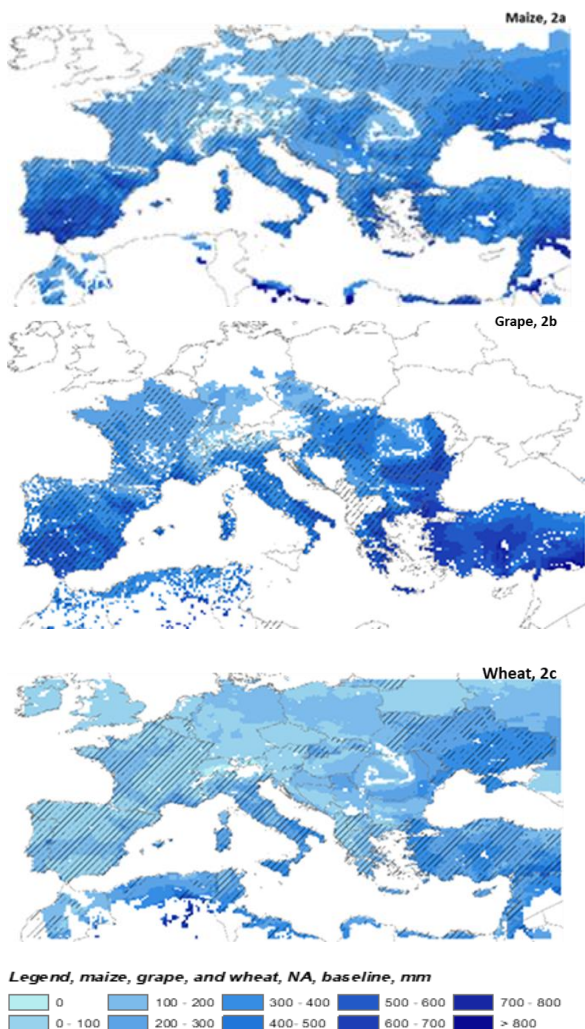


Fig. 2. Regional mean ET_{aw} (2a, 2b, and 2c) for maize, grape and wheat during 1976-2005 considering potential crop distribution widespread in the entire domain. The effective crop irrigated areas are distinguished using solid diagonal lines

Fig. 2. ET_{aw} media regionale (2a, 2b e 2c) per mais, vite e frumento nel periodo 1976-2005 considerando la distribuzione potenziale delle colture nell'intero dominio. Le effettive aree irrigate delle colture sono indicate dal tratteggio.

Impact of climate change on crop irrigation requirement at regional scale

Regional baseline values for maize, grape, and wheat ET_{aw} is shown in Figure 2 for the Mediterranean domain and discussed for each crop in the next sub-sections.

Maize

The evapotranspiration of applied water (ET_{aw}) within the baseline period ranged from 210 mm (Slovenia) to 769 mm (Algeria) (Figure 2a). In most countries, the changes in ET_{aw} follow the precipitation variability under the two scenarios. A future increase in irrigation demand was observed in all Mediterranean countries, with peaks of 25-28% found in France, Italy, Slovenia, and Montenegro. The lowest increase of crop water demand (1-6%) was estimated under RCP4.5 in Algeria, Israel, Egypt, Lebanon, Syria, and Turkey. Irrigation demand was expected to increase by about 14-17% in Morocco, Spain, Croatia, and Albania. A focus on the Mediterranean Countries shows a mean ET_{aw} value about 13% higher in the future under both RCPs (Figure 3a).

Grape

The highest irrigation demand (ET_{aw}) in the baseline occurs in Turkey (706 mm) and the lowest in Slovenia (289 mm). A peak of about 600 mm was found in Greece, followed by Tunisia and Spain, where values between 400 mm and 500 mm are reported. Lower values (400-500 mm) occur in Italy, Algeria, France, Croatia, and Morocco (Figure 2b). In general, the grape irrigation demand (ET_{aw}) followed precipitation patterns. The largest increase of irrigation requirement, under both RCPs, is expected in France (about 19%) and Italy (about 15%) followed by Slovenia, Croatia, and Spain (about 11%). Changes no higher than about 6% are predicted for Tunisia, Greece, and Turkey (Figure 3b). A focus on the Mediterranean Countries shows a mean ET_{aw} value about 10% higher in the future under both RCPs.

Irrigated wheat

Crop irrigation requirement values lower than 100 mm are estimated in Albania, France, Montenegro, and Spain. The highest applied water demand in the baseline is reported for Syria and Turkey (304 mm) (Figure 2c). Irrigation demand under climate change is expected to slightly decrease in Egypt under both RCPs while in Israel, Lebanon, and Syria only under RCP 4.5. A noticeable increase of about 40 - 46% wheat irrigation demand under climate change is projected for France, Spain, Montenegro, and Albania under RCP 4.5. As a result of slightly higher precipitation under RCP 8.5 compared to RCP 4.5, in the same countries lower ET_{aw} values were found under RCP 8.5. The highest difference between the two climate scenarios arises in France (27%) with the lowest in Italy (0.2%). A focus on the Mediterranean Countries shows a mean ET_{aw} value about 16% higher in the future under both RCPs (Figure 3c).

water competition and threats to water supply, and the expected decreases in crop yields partly due to water and climate impacts, strongly suggest that increasing the resilience of agricultural sector to extreme events in Mediterranean countries is a critical priority from local to European governments in terms of managing water consumption (SDG 6) while also maintaining crop production (SDG 2). The first step to cope with these issues is to increase knowledge about the water consumption and irrigation requirements of Mediterranean crops to better manage water resources, as well as better understanding of yield declines, particularly in regions already largely affected by water scarcity and a multitude of water-demanding sectors. This study further contributes to such knowledge. Although the adaptation of the agricultural sector to climate change is progressing, the process needs to be accelerated. Policies targeted to facilitate and speed up this transition at different time and spatial scales should be addressed by decision makers faster and better (EEA, 2019).

Conclusions

In this work, SIMETAW# was implemented in R to allow crop water consumption and irrigation demand estimations both at local (SIMETAW_R) and regional scale (SIMETAW_GIS). SIMETAW_R performed well at the local level. Estimated increases in crop water needs under future climate conditions in Mediterranean Countries are predicted. Irrigation demand increases were often greater under RCP 4.5 than 8.5 scenario. The SIMETAW_R model outcomes at local scale as well as the SIMETAW_GIS platform gridded outcomes at regional scale contribute to increase awareness on climate change issues regarding crop water consumption and irrigation requirements and agricultural production in Mediterranean regions.

To tackle climate change impact on the agricultural sector, adaptation strategies should be developed, supported, and implemented. In view of the rapid demographic growth and the consequent food security issue, it is necessary to cope with climate change through strategies targeted to achieve sustainable agricultural production. In this context, this study adds useful information to better inform such policy decisions surrounding agricultural practices and crop water management both at local and regional scale.

References

Brooks J. (Ed.), 2012. Agricultural Policies for Poverty Reduction. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264112902-en>.
 Burba G., 2013. Eddy covariance method for scientific, industrial, agricultural and regulatory applications: A field book on measuring ecosystem gas exchange and areal emission rates: LI-Cor Biosciences.

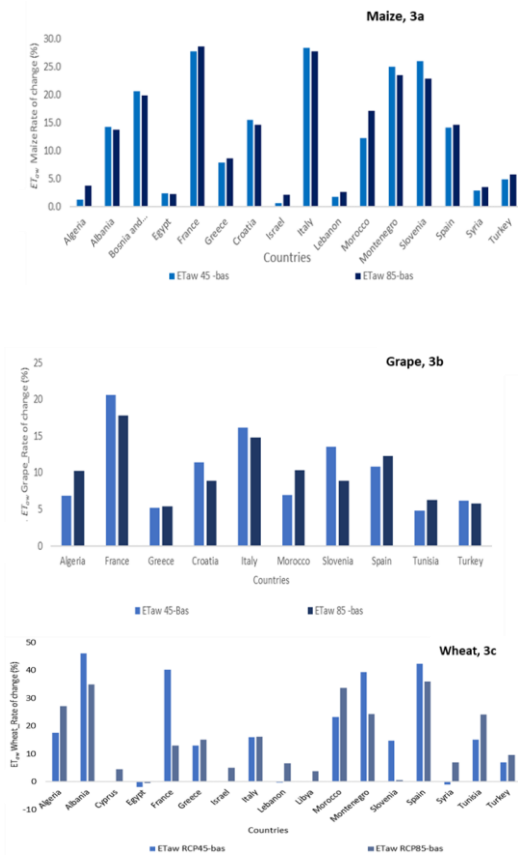


Fig. 3. Rate of change of ET_{aw} between future climate condition (2036-2065) under both RCP 4.5 and 8.5 scenarios and the baseline (1976-2005) with a focus on the Mediterranean countries.

Fig. 3. Tasso di variazione di ET_{aw} tra condizioni climatiche future (2036-2065) e il riferimento 1976-2005, in entrambi gli scenari RCP 4.5 e 8.5, con particolare attenzione ai paesi del Mediterraneo.

Discussion

In the near future, non-irrigated crop production in southern Europe is expected to decrease by about 50%, and this may lead to climate change induced crop abandonment (EEA, 2019). Decreases in crop yield and the abandonment of productive land could threaten local, regional, and European food security, which led to the global challenge to achieve the SDG 2 in the Mediterranean basin (SDSN, 2019). Furthermore, unsustainable agriculture may lead to an increase in food imports, with a consequent increase in food prices and food supply vulnerability. It can cause lower and/or less stable income for farmers with an unavoidable impact on the agricultural sector. Taken together, the potential for agricultural water demand leading to increased

- Cramer W., Guiot J., Fader M., et al., 2018. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8, 972–980, doi:10.1038/s41558-018-0299-2.
- EEA, 2019. Climate change threatens future of farming in Europe. <https://www.eea.europa.eu/highlights/climate-change-threatens-future-of>.
- Giorgi F., 2006. Climate change hot-spots, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L08707.
- IPCC, 2007. Fourth IPCC Assessment Report (AR4): Climate Change 2007. Cambridge University Press.
- IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 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, 2018 A. Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- IPCC, 2018 B. Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K.L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijikida, S. Mehrotra, A. Payne, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou, 2018: Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press
- Kleidon A., Renner M., 2018. Thermodynamic limits of hydrologic cycling within the Earth system: concepts, estimates and implications. *Hydrology and Earth System Sciences*. 17: 2873-2892. DOI: 10.5194/hess-17-2873-2013.
- Mancos, N., Spano, D., Orang, M., Sarreshteh, S., Snyder, R.L., 2016. SIMETAW#—A Model for Agricultural Water Demand Planning. *Water Resour. Manag.* 30, 541–557, doi:10.1007/s11269-015-1176-7.
- Masia S., Trabucco A., Spano D., Snyder R.L., Susnik J., Marras S., 2021. A modelling platform for climate change impact on local and regional crop water requirements. *Agricultural Water Management*. 255: 107005. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107005
- OECD, 2017. “Water risk hotspots for agriculture”, OECD, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=COM/TAD/CA/ENV/EPOC\(2016\)4/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=COM/TAD/CA/ENV/EPOC(2016)4/FINAL&docLanguage=En). Impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Regional Environment Change* 7, 149–159.
- Saadi S., Todorovic M., Tanasijevic L., Pereira L.S., Pizzigalli C., Lionello P., 2014. Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agricultural Water Management*. Elsevier.
- Samani Z., (2000). Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126 (4), 265-267.
- Santhi C., Arnold J.G., Williams J.R., Dugas W.A., Srinivasan R., Hauck L.M., 2001. Validation of the swat model on a large river basin with point and nonpoint sources. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 37, 1169–1188.
- Schulla J., Jasper K., 2007. Model Description Wasim-eth. Institute for Atmospheric and Climate Science, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- Schwab A.L., Knott R., Schottdorf W., 2000. Results from new fungus-tolerant grapevine varieties for Organic Viticulture. Beitragpräsentiert bei der Konferenz: 6th SDSN, 2019. SDGs: The Mediterranean is Still Lagging Behind Sustainable Development Solutions Network. Cresti S.

Websites

FLUXNET. <https://fluxnet.ornl.gov>. Last access 2016.

IL DECISION SUPPORT SYSTEM DI ABACO FARMER PER LA STIMA DEL CONTENUTO IDRICO ED I SUOI EFFETTI FISIOLGICI

ABACO FARMER'S DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ESTIMATING WATER CONTENT AND ITS PHYSIOLOGICAL EFFECTS

Simone G. Parisi^{1*}, Luca Benzi¹, Paolo Bertellini¹, Tommaso Nolli¹, Piergiorgio Testi¹

¹ ABACO S.p.A.

*s.parisi@abacogroup.eu

Abstract

La stima del contenuto idrico del terreno e la valutazione dei suoi effetti fisiologici su colture come la vite ha sempre rappresentato una importante sfida in termini informatici ed agronomici. In Abaco Farmer sono oggi presenti dashboard che guidano gli esperti in campo nelle scelte agronomiche legate all'irrigazione e gestione della chioma, integrando dati provenienti dalla sensoristica IoT di campo e Satellitare. Verranno presentati gli approcci metodologici e risultati legati a casi studio in aziende demo toscane.

Parole chiave

Bilancio Idrico, Stress Idrico, Decision Support System, Sensori IoT

Keywords

Water Balance, Water Stress, Decision Support System, IoT Sensors

Introduzione

Il lavoro di agronomi e amministratori di aziende agricole è orientato al duplice obiettivo di massimizzare la qualità del prodotto offerto minimizzando le risorse necessarie per produrlo. I fattori che entrano in gioco per il raggiungimento di questo difficile equilibrio sono molteplici e le scelte strategiche di governo dell'azienda diventano fondamentali. In questo senso i Decision Support Systems diventano uno strumento chiave in grado di rappresentare la situazione in campo, confrontare l'influenza delle variabili guida per la crescita della coltura e supportare le scelte.

Una delle colture più complesse da gestire agronomicamente è la vite.

Analogamente all'organismo umano, il rischio da stress idrico, per le piante in generale e quindi per la vite, è correlato al bilancio tra il consumo e il rifornimento di acqua. Il rischio risulta essere minimo quando la disponibilità di acqua è elevata e la domanda è bassa, e, al contrario, elevato quando la disponibilità di acqua è bassa e la richiesta elevata.

Una buona gestione idrica si traduce in primo luogo nella riduzione dei turni di irrigazione di emergenza. Essi possono essere ottimizzati rilevando in anticipo il momento critico del livello di stress della pianta e le specifiche zone di vigneto che necessitano realmente di irrigazione.

La quantità d'acqua potenzialmente disponibile per una pianta può essere calcolata moltiplicando il volume di radicazione per la capacità di ritenzione idrica del suolo.

Il volume di radicazione è un'informazione fondamentale per il bilancio idrico. Per calcolare la quantità d'acqua a disposizione di una pianta, infatti, va considerata solamente l'acqua situata nella sola zona radicale, in

quanto, indipendentemente dalla profondità del suolo, è l'estensione delle radici a determinare il volume d'acqua realmente utilizzabile dalla pianta. La profondità che le radici possono raggiungere dipende sia dalla specie e dall'età della pianta che dalla conformazione del terreno. Nel caso specifico della vite, dopo un periodo iniziale con un apparato radicale poco sviluppato, in condizioni normali con terreni privi di strati impermeabili, suoli compatti o rocciosi le piante nel corso di diversi anni possono radicare abbastanza profondamente.

Le viti non sono però le uniche piante che utilizzano l'acqua in un vigneto. Malerbe e eventuali altri seminativi competono per l'acqua e rappresentano anch'essi una componente importante da considerare nel bilancio idrico di un vigneto.

Per avere una visione completa dello stato di salute di una pianta il livello di stress idrico va però considerato insieme alla tempistica e al tipo di risposta che la pianta sviluppa. L'esempio più immediato riguarda le conseguenze per periodi anche molto lunghi con scarse precipitazioni. Essi se avvengono in inverno, quando la vite è in dormienza, non causano nessun danno alla pianta. Non sempre infatti lo stress idrico rappresenta un fenomeno indesiderato.

La crescita dei tralci, ad esempio, è uno dei processi maggiormente influenzato dallo stress idrico. Maggiore è il livello di stress minore è la crescita dei tralci. In alcuni contesti, come quelli con viti con chiome troppo dense, lo stress idrico può essere considerato come un fattore positivo, in altri, in cui la pianta non è ancora sviluppata, al contrario, è una situazione meno favorevole.

Un altro fenomeno sensibile allo stress idrico è la crescita degli acini. Essa è dovuta alla divisione cellulare e solitamente avviene nelle prime 3-4 settimane dopo la fioritura. In questo caso gli effetti più a lungo termine dello stress idrico si traducono da un lato in una riduzione delle

rese in termini quantitativi e dall'altro in acini più piccoli ma con aromi più intensi per via del maggior rapporto buccia/volume.

Eventi di stress idrico più tardivi, a metà o fine stagione, influiscono invece sugli acini che sono vicini o hanno superato la fase dell'invaiaitura. Se lo stress idrico si manifesta per un periodo continuativo nelle ultime settimane prima della vendemmia può mettere a rischio la grandezza dell'acino e l'accumulo degli zuccheri. Al contrario se esso si manifesta nelle primissime settimane successive alla fase di invaiaitura, la crescita dell'acino e l'accumulo degli zuccheri difficilmente vengono compromessi.

In generale, per la vite, la produzione di uva rappresenta di per sé uno stress, per viti molto produttive il contemporaneo sopraggiungere dello stress idrico va ad inficiare significativamente la resa finale del vigneto. La gestione dell'acqua diviene quindi un punto critico per contrastare le forzanti climatiche e raggiungere un buon compromesso tra l'obiettivo di resa e la qualità dell'uva prodotta. Avere coscienza dello stato idrico di un vigneto permette ai decisori aziendali di intervenire attraverso buone pratiche agricole, come cambiamenti della gestione del suolo, irrigazione a goccia e gestione del verde.

Materiali e Metodi

ABACO Group è uno dei leader europei per lo sviluppo di soluzioni software per la gestione e il controllo delle risorse del territorio. Trent'anni di esperienza hanno permesso all'azienda di anticipare le esigenze di un mercato in evoluzione e di diventare partner di fiducia dei più importanti player dell'industria e dei governi che oggi affrontano le sfide dell'innovazione, dello sviluppo sostenibile, della tracciabilità e della produttività.

ABACO Farmer, con un'usabilità che vuole rendere semplice e intuitivo l'utilizzo della piattaforma di smart agriculture e supportare la diffusione di una cultura dell'innovazione permette anche a piccoli e medi imprenditori di fruire delle nuove tecnologie dell'agricoltura 4.0 e di trasformare il proprio modello di lavoro grazie ad esse.

Nello specifico Abaco Farmer è una piattaforma in cloud che consente di :

- Tracciare e mappare le attività in campo ed i processi gestionali per organizzare il lavoro in modalità agile.
- Gestire la tua azienda agricola per le produzioni future; confronta i dati attuali e le serie storiche.
- Utilizzare cruscotti grafici che contengono le informazioni di sintesi di maggiore interesse agronomico.
- Fornire dashboard a supporto delle decisioni (agro-meteorologia e vegetazione)
- Consultare i dati e le analisi che hai raccolto nel corso delle stagioni o degli anni per pianificare le attività.

Inoltre, è in grado di integrare dati meteorologici e servizi da diverse fonti, e può utilizzare database aperti messi a disposizione da tutti coloro che espongono dati tramite servizi web.

Al fine di effettuare misurazioni complete nei campi, nel modo più automatico possibile, ABACO a scopo di ricerca e sviluppo ha integrato nel proprio sistema dati acquisiti da sensori suolo e pianta e da 2 stazioni meteo. Le Sensor Station sono state acquistate direttamente da ABACO e installate in due aziende Demo situate in toscana facendo uno studio sulla posizione migliore per ottimizzare la qualità e il valore dei dati acquisiti.

Le stazioni meteo sono state predisposte con una trasmissione dati via radio ad un server centrale che trasmette i dati direttamente ad ABACO farmer. Sono dotati di:

- Modem, antenna, batteria, pannello solare
- Modulo pluviometro
- Sensori di temperatura e umidità
- Sistema di direzione del vento
- Sensori di misurazione della velocità del vento
- Sensore di radiazione solare
- Sensore di temperatura foglia singola
- Modulo di temperatura a infrarossi
- Sensore di temperatura IR
- Modulo sensore di bagnatura fogliare con cavo da 5 metri
- Sensori Drill & Drop (sensori di temperatura e umidità del suolo)

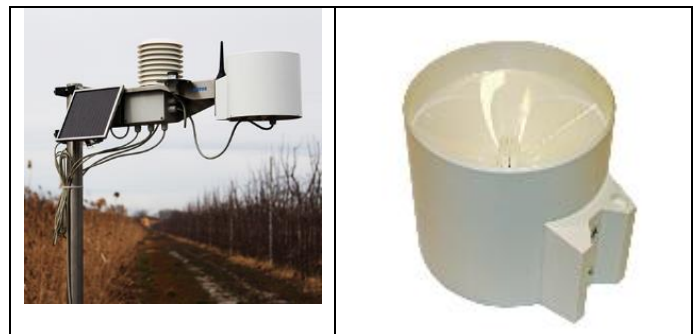


Fig.1 – Sensori & stazione meteo (sinistra) e pluviometro (destra)

Fig.1 – Sensor & Weather Station (left) and Rain Gauge Module (right)

L'azienda oggetto di analisi e studio del caso d'uso è stata: CANTINA IL PALAZZO, Loc. Antria, Arezzo, Tuscany, IT
GPS Coordinates: 43.502773, 11.904402

Che è costituita da 35 ettari di vigneti in area CHIANTI D.O.C.



Fig.2 – Ortofoto satellitare dell'azienda Il Palazzo
 Fig.2 – Satellite orthoimage of the farm Il Palazzo

Nel proprio sistema ABACO per ciascun appezzamento registrato permette la consultazione delle serie temporali degli indici satellitari ricavati da SENTINEL 2. Questo avviene sia in maniera grafica, attraverso tabelle e grafici visualizzati nella dashboard di Abaco Farmer, che in maniera alfanumerica tramite lo standard Rest-API in formato JSON e geotiff/pngs. Per ogni appezzamento sono disponibili i dati degli ultimi 5 anni aggiornati in tempo reale al passaggio del satellite.

Di seguito nelle figure sono rappresentate le serie temporali dell'indice di vegetazione per una parcella del vigneto Tenuta il Palazzo:



Fig.3 – Esempio di piano colturale grafico dell'azienda Il Palazzo in Abaco Farmer
 Fig.3 – Example of the graphical crop plan for the Il Palazzo farm in Abaco Farmer

Nell'ambito delle funzioni dedicate al settore viticolo, Abaco ha sviluppato una scala cromatica specifica per i vigneti personalizzabile per tutti gli indici di vegetazione che riflette la diversa gamma dinamica di LAI delle piante di vite. Grazie ai dati Satellitari Sentinel-2 Abaco ha anche sviluppato un modulo per la generazione automatica di Farm Management Zones. Questa mappa dell'azienda agricola fornisce le zone del campo necessarie per applicare le azioni di agricoltura di precisione, in particolare l'applicazione a tasso variabile (VRT).

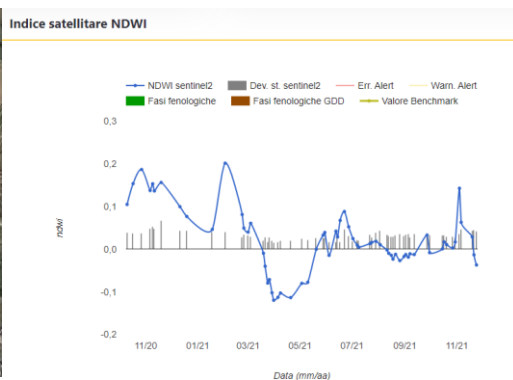


Fig.4 – Esempio di visualizzazione dell'andamento degli indici NDWI e NDVI in Abaco Farmer

Fig.4 – Example of the satellite indices NDWI & NDVI time series in Abaco Farmer

Combinando tutte le immagini satellitari disponibili durante un periodo di sviluppo delle colture definito dall'utente, si ottengono le zone con caratteristiche simili. Le zone con maggiore fertilità sono visualizzate in verde, seguite dalla zona media colorata in giallo mentre le zone con fertilità inferiore sono visualizzate in rosso. La mappa delle zone di gestione è importante per la gestione del campo. Essa può essere utilizzata come input per mappe di zonizzazione più avanzate o utilizzata direttamente per la pianificazione della fertilizzazione o dell'irrigazione.

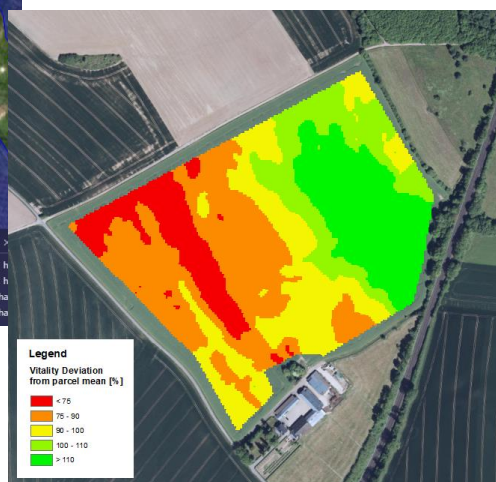


Fig.5 – Esempio di mappa di prescrizione derivata da immagini NDVI di Sentinel-2 del 2019 in Abaco Farmer

Fig.5 – Example of Farm Management Zones map derived from Sentinel-2 NDVI images for 2019 by Abaco Farmer

Come riportato in letteratura, NDWI è correlato al contenuto idrico della vegetazione (Serrano et al 2019, Ihouma 2017, Moreno et al 2013, Gao 1996). Per comprendere meglio le informazioni che NDWI può fornire per i campi di vite, abbiamo studiato la relazione tra lo stress idrico della vegetazione e NDWI. Il grafico seguente mostra le serie temporali delle misurazioni della temperatura fogliare (verde) e della temperatura dell'aria (rosso) effettuate in un appezzamento del vigneto Il Palazzo nel 2019 da ABACO.

La linea viola mostra l'NDWI derivato dalle immagini S2 per questo grafico. È noto che la temperatura delle foglie aumenta quando la pianta subisce uno stress idrico perché l'effetto rinfrescante dell'evapotraspirazione diminuisce. I giorni con temperature più elevate nel periodo giugno/luglio sono stati segnalati per mostrare un significativo stress idrico. NDWI mostra una correlazione negativa con le temperature fogliari come previsto e riportato da altri autori (es. Serrano et al 2019). Sfortunatamente, il set di dati in questa fase era troppo piccolo per andare in un'analisi più approfondita quindi ci si è limitati a includere NDWI nel dashboard Irrigation riportato nella sezione 4.6 per poterlo studiare in modo più approfondito.

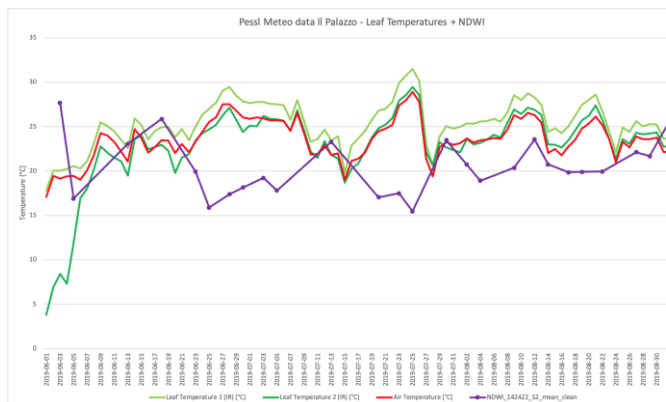


Fig.6 – Serie storica di misure di temperatura fogliare (verde) e temperatura dell'aria (rossa) effettuate in un vigneto dell'azienda del Palazzo nel 2019 dal Abaco. La linea viola mostra l'indice NDWI derivato dal satellite NDWI sempre per il medesimo vigneto.

Fig.6 – Timeseries of leaf temperature measurements (green) and air temperature (red) done at one plot of Il Palazzo vineyard in 2019 by ABACO. The purple line shows the NDWI derived from S2 imagery for this plot.

Risultati e Discussione

Al fine di aiutare l'agronomo e in generale l'operatore di gestione del vigneto, è stata definita una dashboard attraverso la quale per ogni parcella (vigneto) selezionata l'utente ha una visione completa dei dati storici e previsionali utilizzabili per il DSS irriguo.

Come per ogni modello e Sistema Informativo, è fondamentale verificare le seguenti condizioni, confermate con successo nei nostri due allevamenti pilota:

- Quanti dei dati disponibili sono rappresentativi della reale condizione dell'ambiente in cui si trova il vigneto?
- Qual è la relazione tra gli allarmi del livello di stress idrico e lo stato reale del vigneto?
- Quale parte del vigneto è per lo più omogeneamente coerente con il livello di stress idrico?

In dettaglio, il dataset è composto da:

- dati storici degli indici satellitari (NDVI, NDWI, NDRE, CI-RE, EVI)
- dati storici dei sensori di terreno

Per entrambe le fonti può essere selezionata una specifica sottoclasse.

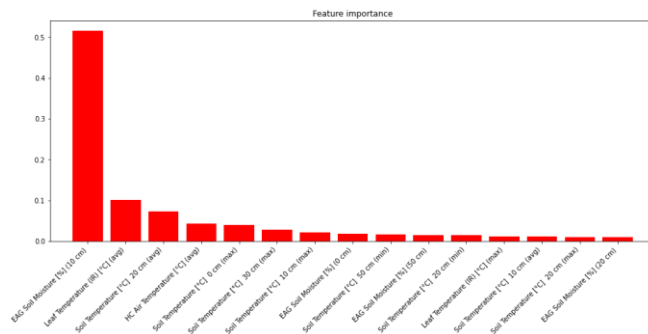


Fig.7 – Istogramma che mostra in ordine di importanza le variabili disponibili misurate dai sensori.

Fig.7 – Features importance in order of weight for all the available sensors variables.

Lo stesso è stato fatto per i dati dei sensori. La selezione è disponibile tra i vari parametri misurati dalle stazioni meteo/soilo. L'intervallo di tempo dei dati storici è personalizzabile dagli utenti.

Per quanto riguarda in particolare gli indici satellitari, è possibile visualizzare i dati sotto forma di immagine in modo da evidenziare eventuali zone interessate da stress idrico.

Gli avvisi in tempo reale del livello di stress idrico sono calcolati attraverso un modello di bilancio idrico basato sul serbatoio – fornito da ABACO – e i risultati derivano dai dati dei sensori di umidità del suolo e dall'analisi degli indici satellitari – forniti da ABACO.

Il bilancio idrico ha un meccanismo che prevede fattori additivi e sottrattivi. A seconda delle proprietà specifiche, il suolo ha la capacità di immagazzinare l'acqua dalle precipitazioni e dall'irrigazione che rappresentano i fattori additivi per il bilancio. Evapotraspirazione percolazione sono i principali fattori sottrattivi. L'apporto di questi fattori è memorizzato in specifiche tabelle DB.

Abaco ha sviluppato un componente di apprendimento automatico che esegue la previsione del bilancio idrico utilizzando i dati delle stazioni meteorologiche e i dati del suolo. L'analisi è stata eseguita su due vigneti oggetto di studio del progetto BigDataGrapes: "Casato Prime Donne" e "Il Palazzo". Su ogni vigneto, due campi sono stati dotati di stazioni meteorologiche e pedologiche che registrano diversi parametri a diversi livelli di granularità.

In particolare, in tabella 1 sono riportati modelli utilizzati, con i risultati ottenuti. Per tutti i metodi, è stata utilizzata una metodologia standard di validazione incrociata k-fold (con k = 5). La prestazione finale riportata è la media delle cinque prestazioni sui set di prova. Il set di validazione viene utilizzato per eseguire l'arresto anticipato dell'addestramento dei modelli al fine di evitare l'overfitting dei dati. Le migliori prestazioni si ottengono utilizzando un regressore ExtraTreesRegressor.

Tab.1 – Risultati statistici dei diversi modelli utilizzati nel componente di apprendimento automatico

Tab.1 – Statistical results for the different models used in machine learning procedure

Model	RMSE	STD DEV
ExtraTreesRegressor	0.094274	0.039790
RandomForestRegressor	0.100348	0.036354
GradientBoostingRegressor	0.113685	0.033449
SVR	0.133040	0.031672
DecisionTreeRegressor	0.139513	0.031429
VotingRegressor	0.141136	0.023877
BayesianRidge	0.205150	0.015993
Ridge	0.206525	0.025614
LinearRegression	0.207294	0.028328
RANSACRegressor	0.254029	0.037204
Lasso	0.263714	0.021356

Nel modulo Dashboard, l'utente può decidere la caratteristica che vuole avere sotto controllo. Ad esempio: i costi delle attività, la loro durata, i dati in tempo reale della stazione meteo e, naturalmente, il pannello di controllo DSS dello stress idrico (irrigazione).

Nello specifico, il nuovo Irrigation Dashboard permette di avere a colpo d'occhio le informazioni sulle serie temporali che determinano l'equilibrio del serbatoio idrico del suolo, il termine di perdita (Evapotraspirazione) e il termine di guadagno (Pioggia e Irrigazione). Inoltre, un'interfaccia basata su GIS e un grafico interattivo aiutano a scegliere l'immagine dell'indice satellitare per verificare la variabilità spaziale dello stress idrico sul campo.

Conclusioni

ABACO Farmer è una piattaforma provvista di interfacce preposte alla memorizzazione e visualizzazione dei dati degli indici satellitari, dei sensori di campo e DSS facilmente leggibili dai tecnici di campo.

Nell'ambito del Precision Farming, è fondamentale notare che questa piattaforma si adatta alle piccole-medie aziende agricole. L'utente può prendere decisioni efficaci e precise partendo dalla conoscenza delle condizioni pianta-terreno.

L'introduzione di nuove tecnologie a supporto della gestione del vigneto permette di migliorare l'efficienza e la qualità della produzione e, allo stesso tempo, di ridurre l'impatto ambientale. Abaco in quest'ambito prevede l'implementazione di versioni di DSS con numero di input da sensore più ridotto in modo da permetterne una migliore scalabilità, congiuntamente ad una estensione della validazione a differenti contesti pedo-climatici.



Fig.8 – Esempio di DSS di capacità idrica in Abaco Farmer
Fig.8 – Example of water capacity DSS in Abaco Farmer

Bibliografia

- Kent Shannon D., Clay D. E. and Sudduth K.A., 2018. Precision Agriculture Basics, Published by: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Inc.
- Rouse J.W., Haas Jr. R.H., Schell J.A., Deering D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third ERTS-1 Symposium, NASA, Washington, DC, pp. 309–317.
- Gao B., 1996. NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. Remote Sens. Environ. 58, 257-266.
- Huete A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index. Remote Sens. Environ. 25, 295–309.
- Jiang Z., Huete A.R., Didan K., Miura T., 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. Remote Sensing of Environment 112, 3833–3845.
- Clevers J.G.P.W., Gitelson A.A., 2013. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 23, 344–351.
- Ihuoma S.O., Madramootoo, C.A., 2017. Recent advances in crop water stress detection. Computers and Electronics in Agriculture, 141, 267-275.
- Moreno, A., Masellib F., Chiesib M., Genesib L., Vaccib F., Seufert G., Gilaberta M.A., 2014. Monitoring water stress in Mediterranean semi-natural vegetation with satellite and meteorological data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 26, 246–255.
- Serrano J., Shahidian S. and Marques da Silva J., 2019. Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agro-Silvo-Pastoral System. Water, 11, 62.

EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA FENOLOGIA DEL FRUMENTO IN ITALIA: UN CASO STUDIO

CLIMATE CHANGE EFFECTS ON WHEAT PHENOLOGY IN ITALY: A CASE STUDY

Giovanni Maria Poggi^{1,2}, Iris Aloisi¹, Marco Vignudelli², Francesca Ventura^{2*}

¹ BiGeA, Department of Biological, Geological and Environmental Sciences, Alma Mater Studiorum—University of Bologna, Via Irnerio 42, 40126 Bologna, Italy

² DISTAL, Department of Agricultural and Food Sciences, Alma Mater Studiorum—University of Bologna, Viale G. Fanin 44, 40127 Bologna, Italy

* Corresponding author francesca.ventura@unibo.it

Abstract

Successful bread wheat (*T. aestivum*) cropping in Italy is strongly menaced by climate change (CC): variations in temperature affect plants' phenology, being temperature the major driving force of plants' development. Hence, we assessed the effect of CC on bread wheat phenological development, through a case study in the Emilia-Romagna region (North of Italy), where temperatures have steadily increased since the 1950s. Bread wheat phenological development has been compared in two 15-years periods before and after the breakpoint in the increasing trend of mean annual air temperature in the area, i.e. 1952-1966 (past-period), and 2007-2021 (present-period). The climatic characterization confirmed that the two 15-year periods showed different climatic characteristics. A significant shortening of the chronological time necessary to reach the phenological phases of booting, heading, beginning of anthesis, and full ripening (BBCH stages 40-49, 50-59, 61 and 89 respectively) from sowing date was observed for the present-period compared to the past-period. The average wheat life cycle length in the past-period was 244 ± 6 days, in the present period it was, in average, 223 ± 22 days. The precise definition of CC impact on wheat phenological development represent an important tool for modeling applications, aimed at identifying climate smart agriculture strategies, useful for mitigating the impact of rising temperatures on yield and grain quality, such as the change in cropping calendar, the development of new cultivars with improved duration of critical phenological phases, optimization of management practices.

Parole chiave:

Scala BBCH, Gradi Giorno, Emilia-Romagna

Keywords:

BBCH scale, Growing Degree Days, Emilia-Romagna

Introduction

Bread wheat (*Triticum aestivum*) cropping is a fundamental sector of Italian agriculture, with a harvested area of approximately 0.5 Mha, and a production of 2.7 Mtonnes, of which 0.14 Mha and 0.9 Mtonnes in the Emilia-Romagna region (ISTAT). In this region, with a sub-humid climate (average regional annual air temperature equal to 12.8 °C and mean annual precipitation amount of 924 mm - Antolini et al. 2017), climate change (CC) effects have become evident. Specifically, an increasing trend in mean maximum and minimum air temperatures has been observed, accompanied by an increase in heat waves and a reduction in frost days (Tomozeiu et al. 2006). Since temperature is known to be the major driving force of plants' phenological development (Chuine and Régnière 2017), it is essential to address CC impacts on bread wheat phenology in the region. In fact, CC has greatly shifted the timing of major phenological events, producing deep impacts on agricultural management and crops performances (Piao et al., 2019), affecting for example vegetation activity, carbon uptake, water and energy exchanges in the agro-ecosystems (Richardson et al. 2013; Piao et al. 2017; Dusenget al., 2019). So, phenological observations are extremely important for modeling purposes, as they allow to foresee the manifestation of key phases during crop cycle, essential to guide agricultural management. Aim of this study was to assess the effect of CC on bread wheat phenological

development in Italy, through a case study in the Emilia-Romagna region.

Materials and methods

Phenological and meteorological data were analyzed in the experimental farm of the University of Bologna in Cadriano (BO, Lat 44°32'58"N, 11°21'15"E), a representative site of the climate of the Emilia-Romagna region. To evaluate CC effects on wheat phenology, two 15-years periods have been compared: the growing seasons 1951/1952 – 1965/1966 (past-period), and the growing seasons going from 2006/2007 to 2020/2021 (present-period). These two periods refer respectively to a pre and a post CC time for the area considered, since they fall respectively before and after the identified break point in the increasing trend of mean annual air temperature in the area (Matzneller et al., 2010). Phenological data for the past-period on four wheat varieties, i.e. San Giorgio, San Pastore, Mara, and Fortunato, were obtained from bibliography evaluating the performances of these varieties in long-lasting agronomic surveys (Quagliotti 1957; Antoniani 1960; Antoniani 1971). The same phenological data were obtained for the present-period from the phenological bulletin, weekly released by the Department of Agricultural and Food Sciences (DISTAL), based on survey of the wheat cultivar Mieti at the agrophenological station in Cadriano. Phenology data are

encoded using the BBCH scale. The station is run following the methods stated in the Phenagri project (Pasquini et al., 2006). The link between temperature and phenology is expressed in Growing Degree Days (GDDs), calculated starting from air temperature.

- For GDDs calculation, daily temperature data were provided by DISTAL agrometeorological station mechanical series that goes from January 1st 1952 to the present, representing a continuous and uniform historical series, measured near the plots where the phenological data for both periods were collected (Ventura et al. 2002; Matzneller et al. 2010). The same weather data for the last quarter of 1951, were kindly provided by ARPAE Emilia-Romagna, and refer to the Bologna IdroGrafico station. Other than mean air temperature, precipitation data from the same time series were analyzed using the Bagnouls and Gaussen (B&G) climate Index (Bagnouls and Gaussen 1957), in order to climatically characterized the two considered 15-years period. As the definition of B&G climatic index states, when the twice-monthly precipitation curve lies below the monthly average temperature curve, the so-called aridity period is identified

- For each variety in each agronomic season, the chronological time, expressed as Days after Sowing (DAS), and the Cumulative Growing Degree Days (CGDDs) necessary to reach several BBCH stages were calculated using the Single Triangle method (Snyder et al. 1999), with a base temperature of 0 °C (Steduto et al. 2012). In particular, stages 40-49 (booting), 50-59 (heading), 61 (beginning of anthesis) and 89 (full ripening) were analyzed.

- Statistical analysis was performed using R. To be sure that any differences among the varieties for the achievement of BBCH stages, in terms of chronological time from sowing (DAS), were not due to a different precocity, the corresponding CGDDs for each variety in the 15 years were subjected to statistical comparison. Non-parametric Kruskal - Wallis test was used, since data were homoscedastic, but did not met normal distribution (verified by Levene and Shapiro-Wilk test, respectively). To statistically verify the significance of the difference between past-period and present-period in terms of DAS, the average values of the 4 varieties of past-period over the 15 years, were compared with the values of Mietai, using Wilcoxon Rank Sum test, since data did not satisfy normal distribution (verified by Shapiro-Wilk test).

Results

The B&G diagrams of past-period and present-period are presented in figure 1. Diagrams represent 15 years averaged data, obtained starting from the daily weather data of the aforementioned mechanical time series. Present-period showed an evident aridity period, concentrated between the months of June and August, absent in the past-period, highlighting the different climatic characteristics of the two considered periods.

CGDDs values necessary to achieve BBCH stages 40-49, 50-59, 61 and 89 in 15 agronomic seasons were calculated using

the Single Triangle method for 5 varieties: S. Pastore, Mara, Fortunato and S. Giorgio for the period 1951/52 - 1965/66, Mietai for the period 2006/07 - 2020/21. The Kruskal – Wallis test was applied to the data. The test did not show any statistically significant difference for stages 40-49, 50-59, 61 and 89 ($P > 0.05$). All the five varieties considered, therefore showed, starting from the booting phase, the same requirements in terms of thermal thresholds for reaching the phenophases, until the end of their cycle, as shown in Figure 2A. The past-period data is expressed as the average of the 4 varieties.

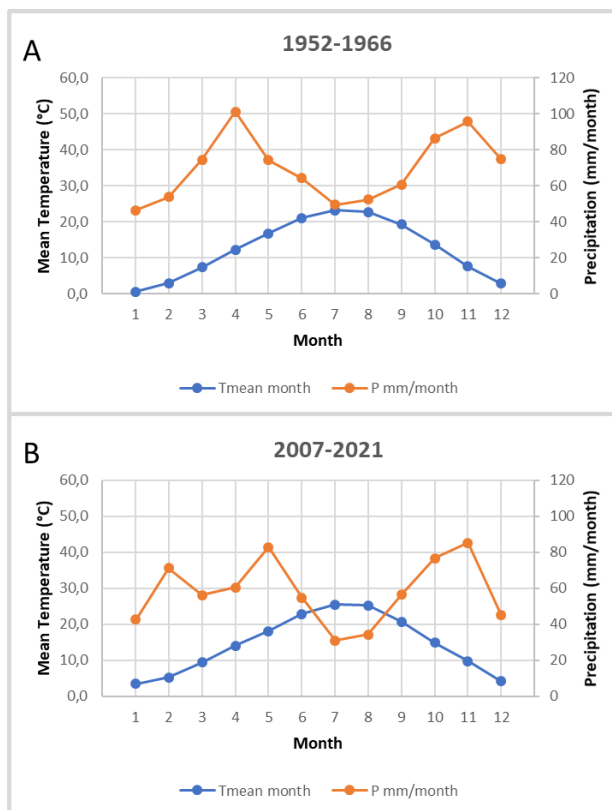


Fig. 1 Diagramma di Bagnouls e Gaussen per i due periodi a confronto. Quando la curva delle precipitazioni si trova al di sotto della curva della temperatura media mensile, si identifica il cosiddetto periodo di aridità

Fig. 1 Bagnouls and Gaussen diagram for the two periods under comparison. When the twice-monthly precipitation curve lies below the monthly average temperature curve, the so-called aridity period is identified

To verify if wheat life cycle has significantly shortened compared to the past, especially the generative period going from flowering to ripening, DAS between the average values of the four varieties of past-period and the values of the present variety Mietai in 15 growing seasons, were compared. As regards BBCH stages 40-49, 50-59, 61 and 89, Wilcoxon Rank Sum test was applied, and a significant shortening of the chronological time necessary to reach the aforementioned phenophases from sowing date was observed for the present-period ($P < 0.05$). The average life

cycle length in the past-period was 244 ± 6 days, compared to the average 223 ± 22 days in the present-period. Figure 2B shows DAS necessary to reach 40-49, 50-59, 61 and 89 BBCH stage in past-period (mean of 4 varieties) and present-period (Mieti).

Dots represent the mean of 15 agronomic seasons, upper and lower bars represent one standard deviation.

Discussion

Temperatures have steadily increased since the 1950s in the Emilia-Romagna region (Tomozeiu et al., 2006).

Aim of this case study was to verify whether CC has produced considerable effects on bread wheat phenological development. Phenological data of two 15 growing seasons periods, selected before and after the temperature breakpoint, have been compared, both in terms of CGDDs and DAS necessary to reach BBCH stages 40-49, 50-59, 61, 89. The climatic characterization of the past-period and the present-period, through the Bagnouls - Gausson diagram, confirmed that the two 15-year periods examined showed different climatic characteristics. As for CGDDs, the thermal threshold necessary to reach phenophases 40-49, 50-59, 61 and 89, showed no differences for any of the varieties involved in this study ($P > 0.05$), assuring that differences between the two periods in chronological time (DAS) for the achievement of the phenological stages from booting forward, were not due to a different precocity of the varieties, but were the effect of the increase in temperatures produced by CC.

Starting from booting, and up to full ripening, a clear and significant ($P < 0.05$) anticipation of wheat life cycle emerged in the present-period, compared to the past-period. On average, 169 ± 19 days vs 193 ± 8 days for booting, 174 ± 21 days vs 198 ± 7 days for heading, 179 ± 22 days vs 202 ± 7 days for beginning of anthesis, and 223 ± 22 days vs 244 ± 6 days for the achievement of stage 89. Furthermore, the high standard deviation in the present period compared to the past period from heading onwards (about three fold), demonstrate the high inter-annual variability linked to CC.

Conclusions

In conclusion, this case study quantified CC effects on bread wheat phenology in the Emilia-Romagna region, highlighting a significant shortening of wheat life cycle. The acceleration of wheat life cycle under rising temperatures can have negative consequences on both yield and grain quality, due to the shortening of phenological events, such as vegetative and grain filling period. This reduction in time may affect both photosynthesis and assimilates translocation to the forming grains (Zacharias et al., 2010), also altering carbon balance and evapotranspiration demand (Barnabás et al., 2008; Fatima et al., 2020). This case study allowed first of all to measure how CC influenced the agricultural ecosystems in the Emilia-Romagna region, through the precise quantification of phenological changes for a major crop in the area. Moreover, the precise definition of CC impact on wheat phenological development represent an important tool for modeling applications, aimed at identifying climate smart agriculture strategies, useful for mitigating the impact of rising temperatures on yield and

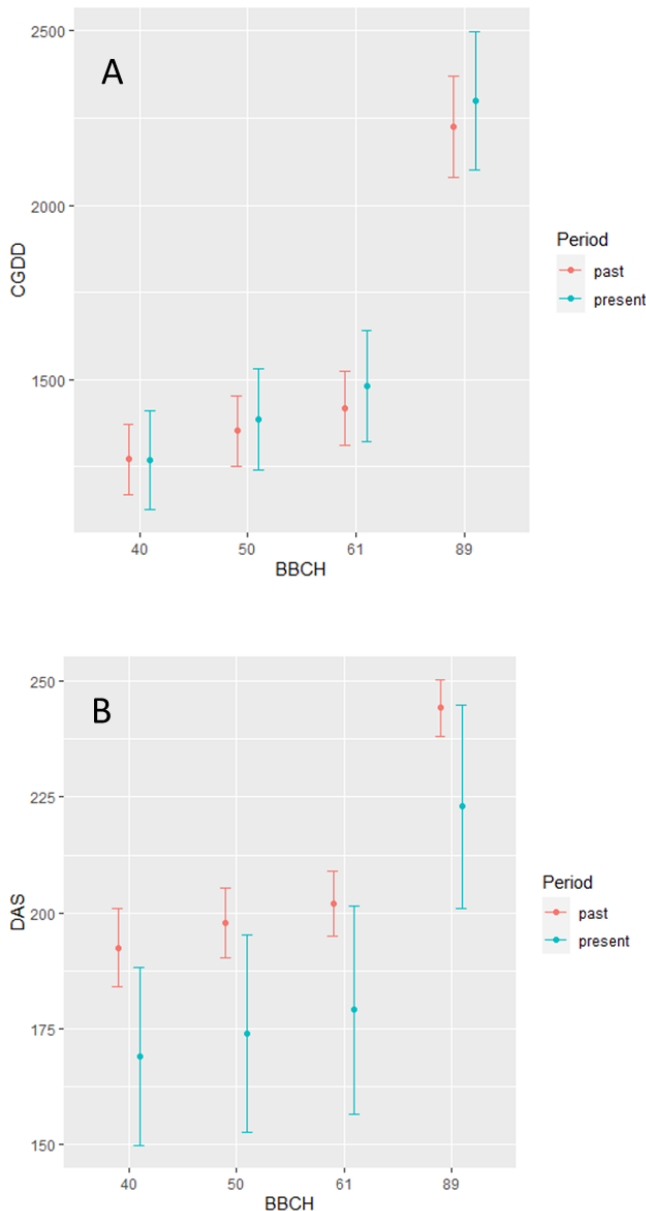


Fig. 2A – Gradi giorno cumulati (CGDD) necessari per raggiungere le fasi BBCH selezionate. 2B - DAS necessari per raggiungere le fasi BBCH 40-49, 50-59, 61 e 89 nel passato (media di 4 varietà) e nel presente (Mieti). I punti rappresentano la media di 15 stagioni agronomiche, le barre superiore e inferiore rappresentano una deviazione standard)

Fig. 2A – Cumulative Growing Degree Days (CGDDs) necessary to reach the selected BBCH stages. 2B - DAS necessary to reach 40-49, 50-59, 61 and 89 BBCH stage in past-period (mean of 4 varieties) and present-period (Mieti).

grain quality, such as the change in cropping calendar (i.e. sowing date), the development of new cultivars with improved duration of critical phenological phases, the optimization of management practices (i.e. fertilizers and irrigation water use efficiency).

References

- Antolini G., Pavan V., Tomozeiu R., Marletto V., 2017. Atlante climatico dell'Emilia-Romagna 1961–2015, edizione 2017. ARPAE Emilia-Romagna, Servizio IdroMeteoClima
- Antoniani C., 1960. Terzo quadriennio di prove su varietà di frumento nella pianura bolognese.
- Antoniani C., 1971. Un ottennio di prove con varietà di frumento tenero nella pianura bolognese. *Rivista di Agronomia. Rivista di Agronomia*:3-21
- Bagnouls F., Gaussen H., 1957. Les climats biologiques et leur classification. In: *Annales de géographie*. vol 355. JSTOR, pp 193-220
- Barnabás B., Järger K., Fehér A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ* 31:11–38.
- Chuine I., Régnière J., 2017. Process-based models of phenology for plants and animals. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48:159-182. doi:10.1146/annurev-ecolsys-110316-022706
- Djanaguiraman M., Narayanan S., Erdayani E., Prasad P.V., 2020. Effects of high temperature stress during anthesis and grain filling periods on photosynthesis, lipids and grain yield in wheat. *BMC Plant Biology* 20., 1.:1-12. doi:10.1186/s12870-020-02479-0
- Dusenge M.E., Duarte A.G., Way D.A., 2019. Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO₂ and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. *New Phytologist* 221., 1.:32-49. doi:10.1111/nph.15283
- Fatima Z., Ahmed M., Hussain M., Abbas G., Ul-Allah S., Ahmad S. et al., 2020. The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options. *Scientific Reports*, 10(1), 1-21.
- ISTAT. <https://www.istat.it/it/agricoltura?dati> doi:10.1016/j.plantsci.2020.110412
- Lieth H., 1974. Purposes of a phenology book. In: *Phenology and seasonality modeling*. Springer, pp 3-19
- Matzneller P., Ventura F., Gaspari N., Rossi Pisa P., 2010. Analysis of climatic trends in data from the agrometeorological station of Bologna-Cadriano, Italy., 1952–2007. *Climatic change* 100., 3.:717-731. doi:10.1007/s10584-009-9686-z
- Pasquini A., Botarelli L., Dal Monte G., Traini S., 2006. Il rilevamento agrofienologico: dall'osservazione in campo alla registrazione dei dati. Ufficio di Ecologia Agraria,
- Piao S., Liu Q., Chen A., Janssens I.A., Fu Y., Dai J., Liu L., Lian X., Shen M., Zhu X., 2019. Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global change biology* 25., 6.:1922-1940. doi:10.1111/gcb.14619
- Piao S., Liu Z., Wang T., Peng S., Ciais P., Huang M., Ahlstrom A., Burkhardt J.F., Chevallier F., Janssens I.A., 2017. Weakening temperature control on the interannual variations of spring carbon uptake across northern lands. *Nature Climate Change* 7., 5.:359-363. doi:10.1038/NCLIMATE3277
- Plaut Z., Butow B., Blumenthal C., Wrigley C., 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research* 86., 2-3.:185-198. doi:10.1016/j.fcr.2003.08.005
- Quagliotti F., 1957. Secondo quadriennio di prove su cultivar di frumento nel piano bolognese. *Annali della Sperimentazione Agraria* 11., 3-4.:821
- Richardson A.D., Keenan T.F., Migliavacca M., Ryu Y., Sonnentag O., Toomey M., 2013. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology* 169:156-173. doi:10.1016/j.agrformet.2012.09.012
- Snyder R.L., Spano D., Cesaraccio C., Duce P., 1999. Determining degree-day thresholds from field observations. *International Journal of Biometeorology* 42., 4.:177-182. doi:10.1007/s004840050102
- Steduto P., Hsiao T.C., Fereres E., Raes D., 2012. Crop yield response to water, vol 1028. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome,
- Tomozeiu R., Pavan V., Cacciamani C., Amici M., 2006. Observed temperature changes in Emilia-Romagna: mean values and extremes. *Climate Research* 31., 2-3.:217-225. doi:10.3354/cr031217
- van Dongen J.T., Roeb G.W., Dautzenberg M., Froehlich A., Vigeolas H., Minchin P.E., Geigenberger P., 2004. Phloem import and storage metabolism are highly coordinated by the low oxygen concentrations within developing wheat seeds. *Plant Physiology* 135., 3.:1809-1821. doi:10.1104/pp.104.040980
- Ventura F., Rossi Pisa P., Ardizzoni E., 2002. Temperature and precipitation trends in Bologna, Italy. from 1952 to 1999. *Atmospheric Research* 61., 3.:203-214. doi:10.1016/S0169-8095(01.00135-1
- Whitechurch E., Slafer G., Miralles D., 2007. Variability in the duration of stem elongation in wheat genotypes and sensitivity to photoperiod and vernalization. *J Agron Crop Sci* 193:131–137. doi:10.1111/j.1439-037X.2007.00259.x
- Zacharias M., Singh S., Naresh Kumar S., Harit R., Aggarwal P., 2010. Impact of elevated temperature at different phenological stages on the growth and yield of wheat and rice. *Ind J Plant Physiol*. 15, 350

PROBLEMATICHE E MODELLIZZAZIONE EMPIRICA DEI DATI MANCANTI DELLA DENSITÀ DI FLUSSO DI LINFA MISURATA CON IL METODO DELLA DISSIPAZIONE DEL CALORE IN UN ULIVETO SUPER INTENSIVO.

TROUBLES AND EMPIRICAL MODEL FOR GAP FILLING THE SAP FLOW DENSITY DYNAMICS MEASURED BY THERMAL DISSIPATION IN A HEDGEROW OLIVE ORCHARD.

Rossana Monica Ferrara*, Maria Roberta Bruno, Vito Rocco De Michele, Liliana Gaeta, Nicola Martinelli, Teresa Mongelli, Domenico Ventrella, Gianfranco Rana

Research Centre for Agriculture and Environment, CREA-Council for Agricultural Research and Economics, Bari, 70125, Italy

* rossana.ferrara@crea.gov.it

Abstract

The objective of this study was to present an effective method to gap fill the time series of sap flow density measured at daily scale (J_{s0}) by thermal dissipation method. Measurements were carried out in a super high-density olive orchard, submitted to two irrigation regimes: full irrigation and regulated deficit irrigation. Sap flow thermal dissipation method was applied at 10-minute scale, in a Mediterranean region (south Italy) with general water scarcity during summer and, recently, with highly instable rain trends due to climate changing. Gaps in the time series of daily J_{s0} were analysed in detail and filled by using multivariate polynomial functions. The J_{s0} time series was determined for three almost complete years (2019-2021), characterized by contrasted weathers: the extreme water scarcity conditions found during drought summers 2019 and 2021 and the extreme rainy summer 2020 with precipitations concentrated in few events. Lack of maintenance due to the severe lockdown of year 2020 for SARS-CoV2 disease caused important gaps in the time series, which were filled by using a multivariate polynomial regression model for J_{s0} mean daily value, linear in global radiation and quadratic in vapour pressure deficit. Furthermore, the attention was focused on the causes of interruption of the transpiration time series.

Parole chiave

Traspirazione, manutenzione del sistema, funzione polinomiale multivariata, sostituzione dati mancanti, radiazione globale, VPD

Keywords

Transpiration, system maintenance, polynomial multivariate function, gap filling, global radiation, VPD

Introduction

Different studies (Fernández et al., 2013) suggest that a regulated deficit irrigation (RDI) strategy could be the best option for super high-density (SHD) olive orchards, since problems linked to excessive vigour, common in this type of orchards, can be reduced by reducing plants water availability.

To correctly evaluate the crop water requirements and use, it is necessary to determine with high accuracy the actual evapotranspiration (ET), particularly complex for tree orchards, since the water follows intricated paths for plant transpiration (T) and soil evaporation, separately (Rana and Katerji, 2000). For comparing more treatments, methods to measure transpiration at plant level are preferred, and the most spread methods to determine T at single plant scale are the techniques based on the measurement of the sap flow density (Rana and Katerji, 2000). However, several sources of error and uncertainty are detected when processing sap flow observations (Nadezhdina et al., 2007; Cammalleri et al., 2013; Wiedemann et al., 2016; Peters et al., 2018; Rana et al., 2019; 2020), including significant effect of trunk

capacitance, sap flow gradient along sapwood, wood response to probe implantation and heating, interference of

probes with sap flow, logistic difficulties, power supply requirements and, furthermore, inaccuracy in detection sap wood depth for determining T.

The thermal dissipation method (TDM) (Granier, 1985) is one of the most frequently used sap flow measuring systems (Lu et al., 2004). However, the fragility of the probes, the demanding management of them during long experimental campaigns, together with all uncertainty above cited, makes this technique time consuming and prone to frequent malfunctioning, with the subsequent necessity of gap filling to correctly reconstruct the time series for having accurate cumulated water losses by crops (Peters et al., 2010).

TDM has been frequently used to determine actual transpiration of olive orchards; however, published trends of sap flow densities were often incomplete and gap filled complete series are very rare (Chebbi et al., 2018), hence the cumulated water losses by transpiration olive orchard at

yearly time scale are almost always unknown or affected by large uncertainties.

The general objective of this study was to follow and describe the sap flow density (J_{s0}) of a super high-density olive orchard submitted to two irrigation regimes: full irrigation (FI) versus RDI. TDM was employed for measuring J_{s0} in a Mediterranean region, characterized by contrasted weather conditions. Gaps in the yearly time series of J_{s0} were analysed at daily scale by using multivariate polynomial functions. Furthermore, attention was focused on the causes of interruption in J_{s0} measurements.

Materials and Methods

Measurements were carried out in 2019–2021, in the olive grove located at the University of Bari experimental farm at Valenzano, Southern Italy (41° 01' N; 16° 45' E; 110 m a.s.l.), on a sandy clay soil (sand, 630 g kg⁻¹; silt, 160 g kg⁻¹; clay, 210 g kg⁻¹). The site is characterized by a typical Mediterranean climate. The olive grove (cv. Arbosana) has been planted in 2006; the trees were trained according to the central leader system (1667 plants ha⁻¹) with a North–South rows orientation; routine cultural practices were described by Camposeo and Godini, (2010).

Two plots of 180 m² surface were submitted to two irrigation treatments, FI versus RDI applied throughout the pit hardening phase when the tree is least sensitive to water deficit: during this phase, irrigation was interrupted for about one month per year (19/07-20/08/2019; 15/07-18/08/2020; 14/7-14/08/2021).

Air temperature (T , °C) and vapour pressure deficit (VPD, kPa), global radiation (R_g , MJ m⁻² s⁻¹) and precipitation (P , mm) were collected at a standard agrometeorological station close to the experimental field. The precipitation regime was determined according to the Standard Precipitation Index as defined by Naresh Kumar et al. (2009).

J_{s0} (g m⁻² s⁻¹), was measured in a set of selected plants, by means of TDM (Granier, 1985), by the difference in temperature (ΔT) between two probes placed in the conducting xylem of the stem. When sap flow is low, or close to zero, a maximum difference in temperature (ΔT_{max}) is recorded. The sap flux density was determined according to Rana et al. (2020). ΔT_{max} was determined using night-time measurements, separately for each sensor, according to Peters et al. (2010) and Lu et al. (2004).

To determine the dynamics of J_{s0} , measurements were carried out in three replicate trees per irrigation treatment and averaged. Trees have been chosen to be representative for each plot considering the similar vigor, according to frequency distribution of trunk diameters of whole plot.

20 mm sap flow probes (UP, Steinfurt, Germany) were installed at 0.30-0.40 m height above the ground. Probes were installed in each tree in the north side to avoid direct solar heating; moreover, to prevent thermal interference, the heated probe was inserted 0.10 m above the unheated one; the probes in each sampled tree were covered by a reflecting radiation screen which also protected them from rain. ΔT

was continuously monitored; measurements were taken by two data loggers (CR10X, Campbell Scientific, Utah, USA) every 10 s, and the average values recorded every 10 min. Measurements were carried out from 19 April 2019 to 15 November 2021.

To estimate transpiration at seasonal and annual scales, a gap filling strategy was developed by following Peters et al. (2010) and Rana et al. (2020). For each replicate tree, when 10-min J_{s0} data were sporadically missing, J_{s0} was calculated by linear interpolation; when more than 50% of daytime 10-min data were missing, the whole day was removed. Using 731 and 660 daily values for FI and RDI, respectively, ANOVA analysis showed not significant differences in mean daily J_{s0} among the monitored trees of each irrigation treatment ($P < 0.001$ and $P < 0.0001$ for FI and RDI treatment, respectively). Therefore, the daily value of J_{s0} was considered as missing only when all three probes of the treatment did not work at the same time.

Gaps of data at daily scale were filled by developing a multivariate model for the relationships between J_{s0} daily mean (J_{s0m}) and values of meteorological variables which mainly determine the transpiration process, i.e. daily mean VPD and cumulated R_g (Katerji and Rana, 2011). A multivariate polynomial regression model for J_{s0} mean daily value was fitted, linear in R_g and quadratic in VPD. Linear regression was used to analyze the suitability of the polynomial models for J_{s0m} ; the regression's significance was established by the F-test ($P = 0.01$) and characterized by the coefficient of determination (R^2). In addition, mean bias error (MBE), root mean square error (RMSE) and modelling efficiency (EF) were evaluated to test the performances of the models.

Tab.1 Temperatura dell'aria (T_{air} , media) e pioggia (P , cumulated) a scala stagionale nei tre anni di prova (w è inverno, sp è primavera, su è estate, a è autunno).

Tab.1 Air temperature (T_{air} , mean) and precipitation (P , cumulated) at seasonal scale during the three years under investigation (w is winter, sp is spring, su is summer, a is autumn).

year	precipitation regime	T_{air} (°C)				P (mm)			
		w	sp	su	a	w	sp	su	a
2019	very dry	11.2	19.5	25.2	16.4	218	94	33	13
2020	wet in summer	10.8	18.5	24.1	15.4	87	208	161	225
2021	very dry	9.4	15.5	26.8	16.3	65	59	20	234

Results and Discussion

Meteorological conditions at seasonal scale were summarized in Table 1. The three years (2019-2021) were characterized by contrasted weathers, including the extreme water scarcity conditions found during drought summers 2019 and 2021, also characterized by very strong heat waves (particularly in 2021), and an extreme rainy summer 2020 with precipitations concentrated in few events. The weather of the three years was much contrasted, confirming the great variability following climate change, in terms both of temperature and rain of the last years in this Mediterranean

area (Katerji et al., 2016). In fact, the yearly mean air temperature was 18.1, 16.4 and 17.1 °C in 2019, 2020 and 2021, respectively, being always warmer than in the past (15.6 °C). An intense heat wave crossed the experimental field during summer 2021, between end July and beginning of August, during the interruption of irrigation at the RDI plot, when the mean air temperature was around 33 °C with peaks of 42 °C during daytime.

The cumulated precipitations were 358, 681 and 378 mm in 2019, 2020 and 2021, respectively. While 2019 and 2021 were particularly drought during spring and summer, year 2020 was strongly rainy, with extreme events of heavy precipitation in summer, when in few minutes 31 and 23 mm of rain fell on 5th and 7th August, respectively; similarly, more than 100 mm of rain fell in three days between 21st and 23rd September.

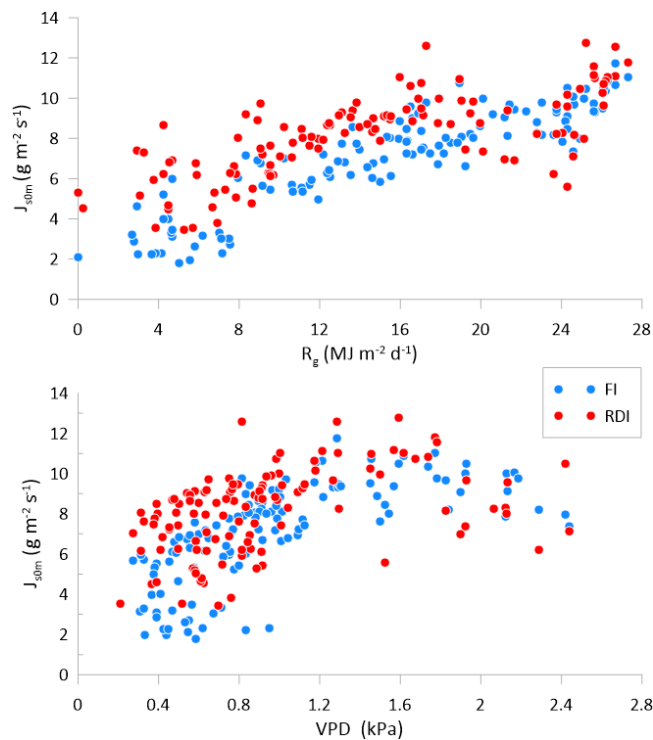


Fig. 1. Densità di flusso di linfa medio giornaliero (J_{s0m}) in funzione di: radiazione globale cumulata (R_g) (pannello superiore e media di deficit di pressione di vapore (VPD) (pannello inferiore) nei trattamenti irrigazione completa (FI) e deficit controllato (RDI), nel periodo luglio-dicembre 2019; sono esclusi i periodi di differenziazione dell'irrigazione (19/07 – 20/08).

Fig. 1. Daily mean sap flux density at daytime (J_{s0m}) in response to: cumulated daytime global radiation (R_g) (upper panel) and average of daytime vapor pressure deficit (VPD) (lower panel) for full irrigation (FI) and regulated deficit irrigation (RDI) treatments in the period July-December 2019, excluding the days when the irrigation was differentiated (19/07 – 20/08).

The effect of environmental drivers, VPD and R_g on J_{s0m} in the two treatments for year 2019 is shown in Figure 1. J_{s0m} was related to daytime averages of VPD and to daytime cumulated global radiation (Peters et al., 2010; Rana et al., 2020), showing the same behaviour for both treatments. J_{s0m} responded quite linearly to increasing values of cumulated daytime R_g , thus in this case no saturating response to the solar radiation was highlighted such as in Rana et al. (2020) for olive tree (see their Fig. 4).

Furthermore, J_{s0m} increased linearly with VPD until a plateau was attained at values approximately equal to 1.5 kPa: this plateau value corresponds to an active stomatal regulation at highest VPD (Peters et al., 2010; Rana et al., 2020). The relationships of daily J_{s0m} versus VPD and R_g determined using a multivariate polynomial regression model were:

$$\text{FI: } J_{s0m} = 0.28 R_g + 5.20 \text{ VPD} - 2.00 \text{ VPD}^2 \quad r^2 = 0.98$$

$$\text{RDI: } J_{s0m} = 0.24 R_g + 9.65 \text{ VPD} - 4.05 \text{ VPD}^2 \quad r^2 = 0.96$$

The above J_{s0m} models have good performances for both FI and RDI, as shown for all available data at daily scale in Table 2, where the linear regression and model evaluation indexes of the comparison between estimated and measured available values in years 2020 and 2021 are shown, excluding the period of irrigation differentiation. In these years, the models overestimated the measured J_{s0m} by 2% and 6% for FI and RDI, respectively; therefore, they are suitable to gap fill the time series at daily scale when the probes had unresolvable malfunctioning on period longer than one day.

Tab. 2. Indici di valutazione delle performance del modello; N è il numero di osservazioni.

Tab. 2. Indexes for evaluating model performance; N is the number of observations.

Index		FI N=287	RDI N=304
Linear regression	R^2	0.394	0.578
	Slope	0.849	1.110
	Intercept	0.943	-0.234
Model efficiency evaluation	MBE	0.236	0.260
	RMSE	2.085	1.687
	EF	0.999	0.999

Sap flow density trends at daily scale per treatment, along the whole experimental period of three years are shown in Figure 2; the periods when the interruption of irrigation in RDI was carried out are also shown.

The motivations for lack of sap flow density values and the relative percentages are given in Table 3. The troubles causing the gaps were in order of importance: 1. External accidents (power supply interruption, men or animals cables accidentally interruption, cable or sensor breaks by accidentally machine operations); 2. Problems to the electronic unit heating the upper probes of the TDM system (malfunctioning after violent storms, break of electronic

components due to excessive heat); 3. Breaking of probes (during both installation and reaction of plants with emission of resin); 4. interference between probes and sap flow along the vascular channels of the tree. From this summary it is also very clear that greatest number of gaps was verified in 2020, when the maintenance interventions were reduced (around 50%) due to constraints imposed by governmental regulations following the SARS-CoV2 lockdown.

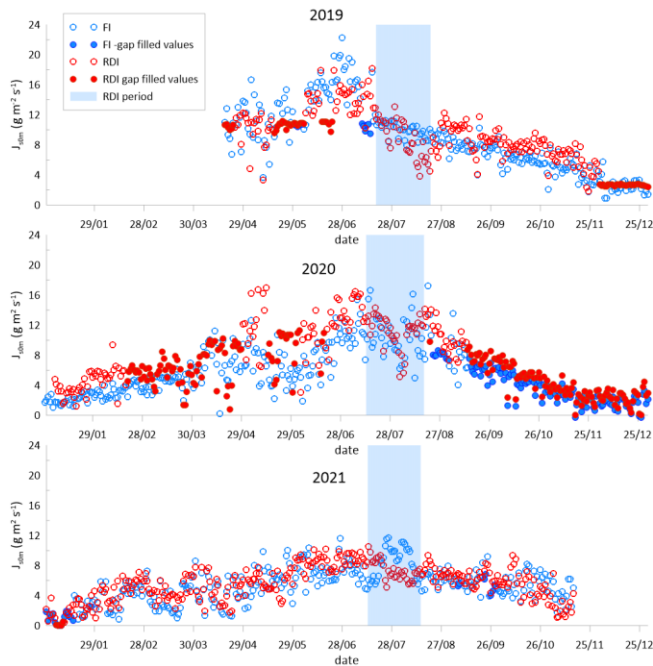


Fig. 2. Densità di flusso di linfa a scala media giornaliera (J_{s0m}) nei due trattamenti, piena irrigazione (FI) e deficit controllato (RDI), durante i tre anni dell'esperimento; i simboli pieni rappresentano i valori sostituiti per mancanza dei dati. Sono indicati con barra celeste i periodi di interruzione dell'irrigazione.

Fig. 2. Sap flow density as daily mean (J_{s0m}) in both treatments, full irrigation (FI) and regulated deficit irrigation (RDI), during the three years of experiment; filled symbols represent values determined through gap filling. The RDI periods are also indicated in light blue.

Tab. 3. Percentuale dei valori mancanti nei tre anni di prova; la descrizione estesa degli inconvenienti che hanno causato il malfunzionamento è riportata nel testo.

Tab. 3. Percentage of missing values in the three years of experiment; the description of the troubles causing missing values is in the text.

Year	Missing values (%)	Trouble (%)			
		probes	heating	external	tree
2019	14	26	26	41	7
2020	45	6	40	48	6
2021	5	43	32	0	25
total	23	12	37	43	8

Conclusions

This study would suggest precautions in the use of completely automatized systems for measuring actual transpiration by TDM sap flow technique. The probes need to be continuously monitored and maintained to promptly individuate the troubles, to understand its cause and to operate for recovering the system. Anyway, a quite simple method to gap fill the missed values can be used to rebuild the complete time series of transpiration trends and dynamics, but accurate measurements of VPD and R_g must be available to identifies empirical multivariate models at daily scale.

On the other hand, the empirical nature of the found multivariate function makes local in space and time the gap filling procedure. Therefore, further investigation is needed to analyse the relationships among climatological variables and sap flow density for generalizing the gap filling procedure, also involving physiological and growth development (mainly leaf area) characteristics of the olive trees.

Acknowledgments

This study was carried out within the MOLTI project (Decree n. 13938, April the 24th 2018) funded by the Italian Ministry of Agriculture. The authors want to thank Prof. Salvatore Camposeo and collaborators for following all agricultural practices.

References

- Cammalleri C., Rallo G., Agnese C., Ciraolo G., Minacapilli M., Provenzano G., 2013. Combined use of eddy covariance and sap flow techniques for partition of ET fluxes and water stress assessment in an irrigated olive orchard. *Agric. Wat. Manage.*, 120, 89–97.
- Camposo S., Godini A., 2010. Preliminary observations about the performance of 13 varieties according to the super high density olive culture training system in Apulia (southern Italy). *Adv. Hortic. Sci.* 24 (1), 16–20.
- Chebbi W., Boulet G., Le Dantec V., Lili Chabaane Z., Fanise P., Mougenot B., Ayari H., 2018. Analysis of evapotranspiration components of a rainfed olive orchard during three contrasting years in a semi-arid climate. *Agric. For. Meteorol.*, 256–257, 159–178.
- Fernández J.E., Perez-Martin A., Torres-Ruiz J.M., Cuevas M.V., Rodriguez-Dominguez C.M., Elsayed-Farag S., Morales-Sillero A., García J.M., Hernandez-Santana V., Diaz-Espejo A., 2013. A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density. *Plant Soil*, 372, 279–295.
- Granier A., 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. For.* 42, 81–88.
- Katerji N., Rana G., 2011. Crop reference evapotranspiration: a discussion of the concept, analysis of the process and validation. *Water Resour. Manag.* 25, 1581–1600.
- Katerji N., Rana G., Ferrara R.M., 2016. Actual evapotranspiration for a reference crop within measured and future changing climate periods in the Mediterranean region. *Theor. App. Climat.*, 129(3–4), 923–938.
- Lu P., Urban L., Ping Z., 2004. Granier's Thermal Dissipation Probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice. *Acta Bot. Sin.* 46, 631–646.
- Nadezhkina N., Nadezhdin V., Ferreira M.I., Pitacco A., 2007. Variability with xylem depth in sap flow in trunks and branches of mature olive trees. *Tree Physiol.* 27, 105–113.
- Naresh Kumar M., Murthy C.S., Sessa Sai M.V.R., 2009. On the use of standardized Precipitation Index (SPI) for drought Intensity assessment. *Met. Apps.*, 16, 381–389.
- Peters E.B., McFadden J.P., Montgomery R.A., 2010. Biological and environmental controls on tree transpiration in a suburban landscape. *J. Geoph. Res.*, 115, G04006.
- Peters R.L., Fonti P., Frank D.C., Poyatos R., Pappas C., Kahmen A., Carraro V., Prendin A.L., Schneider L., Baltzer J.L., Baron-Gafford G. A., Dietrich L., Heinrich I., Minor, R.L., Sonnentag O., Matheny A.M., Wightman M.G., Steppe K., 2018. Quantification of uncertainties in conifer sap flow measured with the thermal dissipation method. *New Phyt.*, 219, 1283–1299.
- Rana G., Katerji N., 2000. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *Eur. J. Agron.*, 13(2-3), 125–153.
- Rana G., De Lorenzi F., Palatella L., Martinelli N., Ferrara R.M., 2019. Field scale recalibration of the sap flow thermal dissipation method in a Mediterranean vineyard. *Agric. For. Meteorol.*, 269–270, 169–179.
- Rana G., De Lorenzi F., Mazza G., Martinelli N., Muschitiello C., Ferrara R.M., 2020. Tree transpiration in a multi-species Mediterranean garden. *Agric. For. Meteorol.*, 280, 107767.
- Wiedemann A., Marañón-Jiménez S., Rebmann C., Herbs M., Cuntz M., 2016. An empirical study of the wound effect on sap flux density measured with thermal dissipation probes. *Tree Physiology* 36, 1471–1484.

STIMA DELLA DISTRIBUZIONE DELLA BACTROCERA OLEAE (ROSSI, 1790) NELLE MARCHE TRAMITE UN MODELLO DI MASSIMIZZAZIONE DELL'ENTROPIA E SVILUPPI FUTURI

ESTIMATION OF THE DISTRIBUTION OF BACTROCERA OLEAE (ROSSI, 1790) IN MARCHE REGION BASED ON A MAXIMUM ENTROPY MODEL APPROACH AND FUTURE DEVELOPMENTS

Stefano Leonesi¹, Danilo Tognetti^{1*}

¹ ASSAM Regione Marche – P.F. Servizio fitosanitario regionale e agrometeorologia

* tognetti_danilo@assam.marche.it

Abstract

The olive tree, a cultivation of very ancient origins, is widespread in the Marche region which has a large number of oil producing companies. However, fruit production can be seriously compromised by the presence of the olive fly, *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790). For more than a decade ASSAM has been carrying out monitoring activities on the entire regional territory, and more detailed maps of the geographical distribution of the main parasites, such as *B. oleae*, are essential for their integrated management, in particular for planning and undertaking defense strategies. After evaluating the influence of the bioclimatic variables of the WorldClim database on the distribution of *B. oleae* using the Maxent model (algorithm based on the principle of Maximum Entropy), the areas of potential distribution of the parasite in the Marche were identified and evaluated which of the bioclimatic variables have the greatest impact on its diffusion. Subsequently, in a context of climate change, the bioclimatic variables were re-evaluated on the basis of their projections in two twenty future years made available again by WorldClim for different Shared Socio-economic Pathways (SSPs).

Parole chiave

Mosca, olivo, *Bactrocera oleae*, Regione Marche, Maxent

Keywords

Olive fly, *Bactrocera oleae*, Marche region, Maxent, climatic change

Introduzione

L'olivicoltura è molto diffusa nelle Marche. Il numero di aziende produttrici di olio supera infatti le 22000 unità (ISTAT, 2021) con una superficie complessiva in produzione che sfiora i 10500 ettari per la maggior parte distribuita sulla fascia collinare e litoranea.

L'olivo è suscettibile all'attacco di differenti parassiti tra cui la *Mosca dell'Olivo*, *Bactrocera Oleae* (Rossi, 1790) considerata la minaccia principale per i danni che provoca ai frutti con conseguenti perdite sia per la produzione che per la qualità dell'olio anche molto ingenti in particolari annate.

Di conseguenza, l'olivo rientra fra le colture oggetto di monitoraggio nell'ambito delle diverse attività svolte dal Servizio Agrometeo ASSAM Regione Marche. Tra gli obiettivi: raccogliere informazioni sullo stato fenologico e fitopatologico della coltura così da fornire indicazioni tecniche agronomiche alle aziende agricole.

A supporto dell'attività di monitoraggio sono utilizzati i modelli di distribuzione delle specie adatti per investigare potenziali diffusioni dei parassiti. Fra questi c'è Maxent modello che si basa sul principio della Massima Entropia utilizzando i dati della sola presenza (Phillips et al., 2006).

Uno fra gli obiettivi di questo lavoro è stato quello di ottenere una mappa di distribuzione di *B. oleae* per le Marche a partire dai dati di occorrenza che provengono dalle attività di monitoraggio dell'ASSAM. Si è valutata a tal proposito l'adattabilità climatica del parassita basata su

drivers bioclimatici. Le stesse valutazioni sono state usate per proiezioni future delle medesime variabili bioclimatiche.

Materiali e Metodi

La gran parte delle elaborazioni sono state eseguite nell'ambiente di sviluppo R (R Core Team, 2018).

L'insieme dei siti di occorrenza di *B. oleae* nelle Marche è stato ottenuto a partire dai dati raccolti nelle campagne di monitoraggio del Servizio Agrometeo ASSAM nel periodo 2012-2021, selezionati in base all'integrità delle informazioni evitando la sovrapposizione di punti (Fig. 1).

Le variabili bioclimatiche utilizzate sono state ottenute da WorldClim (Fick & Hijmans, 2017) database climatico in formato griglia che fornisce, tra l'altro, un insieme di 19 variabili bioclimatiche derivate da temperature e precipitazioni mensili (Tab. 1). La risoluzione spaziale è di 30 secondi (~ 1 km² all'equatore). Successivamente, è stato individuato un sottoinsieme delle variabili bioclimatiche per ridurre il più possibile la multicollinearità; utilizzando le funzioni *cor* e *findCorrelation* dei pacchetti *stats* e *caret* di R, è stato generato un campione di 1000 punti casuali nel rettangolo dei confini geografici dell'Italia ed escluse le variabili con mutuo coefficiente di correlazione di Pearson superiore a 0.8. In precedenza, il tentativo di utilizzare il test di multicollinearità per l'estensione del territorio

Marche aveva prodotto un insieme di variabili selezionate che non hanno poi dato buoni risultati nella successiva modellizzazione. Ecco perché, come estensione, si è scelta quella dei confini italiani.

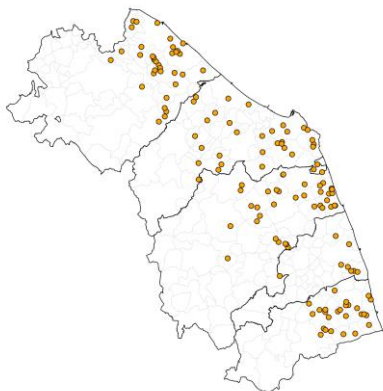


Fig. 1 – Posizione geografica dei siti occorrenza di *B. oleae* rilevati nel periodo 2012 - 2021.

Fig.1 - Geographical Map of occurrence sites of *B. oleae* for the period 2012-2021.

Tab. 1 – Descrizione delle variabili bioclimatiche disponibili nel database WorldClim.

Tab. 1 – Description of bioclimatic variables provided by the WorldClim database

Codice	Variabile bioclimatica
bio1	Temperatura media annuale
bio2	Range medio delle temperature giornaliere
bio3	Isotermalità
bio4	Stagionalità delle temperature
bio5	Temperatura massima nel mese più caldo
bio6	Temperatura minima nel mese più freddo
bio7	Range annuale delle temperature (bio5-bio6)
bio8	Temperatura media del trimestre più piovoso
bio9	Temperatura media del trimestre più siccitoso
bio10	Temperatura media del trimestre più caldo
bio11	Temperatura media del trimestre più freddo
bio12	Precipitazioni annuali
bio13	Precipitazione del mese più piovoso
bio14	Precipitazione del mese più siccitoso
bio15	Stagionalità delle precipitazioni (coefficiente di variabilità)
bio16	Precipitazione del trimestre più piovoso
bio17	Precipitazione del trimestre più siccitoso
bio18	Precipitazione del trimestre più caldo
bio19	Precipitazione del trimestre più freddo

Il modello sviluppato nel presente lavoro è un'implementazione R di Maxent (Phillips et al., 2006), funzione *maxent* del pacchetto *dismo* (Hijmans et al., 2017), un metodo di apprendimento automatico che utilizza il principio della massima entropia per approssimare la

distribuzione di probabilità sconosciuta di una specie a partire dai dati di sola presenza.

Il modello ottimale è stato selezionato seguendo la metodologia indicata in Benhadi-Marín et al. (2020). La funzione *ENMevaluate* del pacchetto *ENMeval* consente di creare diversi set di dati nella serie delle occorrenze utilizzando diversi metodi di partizionamento, ottenendo così una serie di modelli candidati ad essere il modello ottimale finale. La funzione inoltre fornisce metriche di valutazione per selezionare le impostazioni del modello ottimale. Nel nostro caso (campioni delle occorrenze di limitata estensione geografica) abbiamo utilizzato "jackknife" come partizionamento ed ottenuto una serie di 40 modelli: cinque combinazioni di classi di caratteristiche (*linear, quadratic, product, threshold, and hinge*) per otto moltiplicatori di regolarizzazione (da 0.5 a 4). I punti di occorrenza nella stessa cella della griglia sono stati rimossi. Ai siti di occorrenza di *B. oleae* (che corrispondono ai punti di sola presenza del parassita) sono stati contrapposti, nel successivo calcolo dell'indice AUC (*area under the receiver operating characteristic curve*), i punti casuali "di sfondo" che rappresentano le pseudo-assenze (Phillips & Dudík, 2008; Barbet-Massin et al., 2012).

Come modello ottimale è stato selezionato quello con l'indice AIC (*Akaike Information Criterion*) corretto per campioni di piccole dimensioni (*AICc*) secondo Muscarella et al., (2014). Una volta selezionato, il modello è stato riadattato utilizzando la messa a punto ottimale ed è stato calcolato di nuovo l'AUC. L'AUC è una misura indipendente dalla soglia dell'accuratezza predittiva basata solo sulla classifica delle posizioni (Merow et al., 2013) e varia da 0.5 per i modelli senza capacità predittiva a 1.0 per i modelli con una previsione perfetta. Secondo Swets (1988), un modello con AUC > 0.8 significa prestazioni del modello "buone", "molto buone" se > 0.9.

L'errore standard bootstrap dell'AUC, il suo intervallo di confidenza al 95% e la curva ROC (*receiver operating characteristic*) sono stati calcolati seguendo Steven & Phillips (2009), pacchetto *ROCR* (Sing et al., 2005). Infine, è stato calcolato il numero di valori previsti che cadono ad ogni passo di 0.1 nell'intervallo di *adattabilità climatica prevista* p (da 0 a 1).

Le elaborazioni del modello ottimale hanno dato, per ciascuna variabile bioclimatica, una curva di risposta (funzione *response* del pacchetto *dismo*).

Il modello ottimale è stato inoltre utilizzato per valutare l'adattabilità climatica della *B. oleae* a partire dalle proiezioni future delle variabili bioclimatiche fornite da WorldClim per i quattro differenti scenari di sviluppo socioeconomico SSPs (*Shared Socioeconomic Pathways*): 126, 245, 370, 585 (CMIO6, 2022). I periodi considerati sono i ventenni 2041-2060 e 2081-2100.

Risultati e Discussione

L'analisi di multicollinearità (Fig. 2) ha comportato la selezione delle variabili bioclimatiche: *range medio delle temperature giornaliere* (bio2), *isotermalità* (bio3), *stagionalità delle temperature* (bio4), *temperatura massima nel mese più caldo* (bio5), *temperatura media del trimestre*

più piovoso (bio8), temperatura media del trimestre più siccitoso (bio9), stagionalità delle precipitazioni (bio15), precipitazione del trimestre più caldo (bio18), precipitazione del trimestre più freddo (bio19), utilizzate come predittori per le successive modellizzazioni.

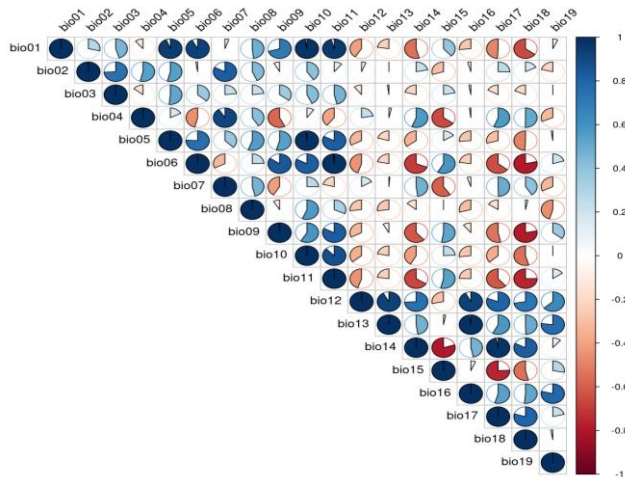


Fig.2 – Analisi di multicollinearità per l'insieme delle 19 variabili bioclimatiche disponibili nel database WorldClim per l'estensione geografica dell'Italia. I grafici a torta rappresentano il valore della correlazione di Pearson calcolato per ogni coppia di variabili.

Fig.2 - Multicollinearity analysis of the pool of 19 bioclimatic variables available from WorldClim for the Italy geographical extension. Pies represent the amount of Pearson correlation within each pair of variables.

Tra le cinque combinazioni di caratteristiche utilizzate per selezionare il modello ottimale (L, LQ, LQH, LQHP e, LQHPT) e gli otto moltiplicatori di regolarizzazione (da 0.5 a 4.0), quello che ha ottenuto l'AICc più basso e un $\Delta AICc = 0$ è stato il modello LQH con un moltiplicatore di regolarizzazione uguale a 2. Il modello LQH ha fornito un AUC = 0.8616, con un errore standard bootstrap = 0.0176 e un intervallo di confidenza del 95% di [0.829, 0.897]. In termini di previsione nel rettangolo geografico delle Marche, il 57.55% delle celle griglia cade nell'intervallo [0.0, 0.1] di p (adattabilità climatica prevista), il 5.34% entro [0.1, 0.2], 3.91% entro [0.2, 0.3], 4.15% entro [0.3, 0.4], 5.6% entro [0.4, 0.5], 7.89% entro [0.5, 0.6], 8.35% entro [0.6, 0.7], 4.43% entro [0.7, 0.8], 1.87% entro [0.8, 0.9] e 0.91% entro [0.9, 0.10]. Tra le variabili bioclimatiche selezionate, quella che ha dato maggiore contributo (relativamente, in %) al modello di Maxent è stata la temperatura media del trimestre più (Tab. 2).

Sovrapponendo, come in Fig. 5, la mappa della distribuzione della adattabilità climatica prevista dal modello Maxent con la distribuzione dei siti delle occorrenze della *B. Oleae*, si osservano delle aree di potenziale distribuzione del parassita non individuate nelle campagne di monitoraggio: zona collinare del fermano e alcune porzioni dell'entroterra del maceratese e dell'ascolano più interne rispetto alla all'area monitorata.

Tab. 2 – Contributo percentuale di ogni variabile bioclimatica selezionata come driver del modello ottimale.

Tab. 2 – Percent of contribution of each selected bioclimatic driver for the optimal model.

Variabile bioclimatica	Contributo (%)
Temperatura media del trimestre più piovoso	40.4
Precipitazione del trimestre più caldo	26.3
Temperatura media del trimestre più siccitoso	24.7
Temperatura massima nel mese più caldo	3.9
Range medio delle temperature giornaliere	2.2
Stagionalità delle precipitazioni	1.3
Stagionalità delle temperature	1
Isotermalità	0.1
Precipitazioni del trimestre più freddo	0.1

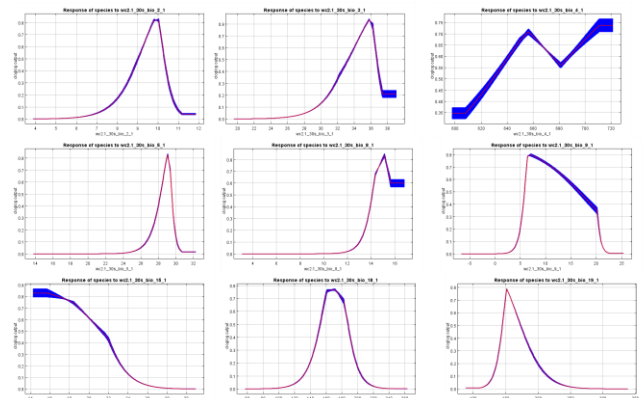


Fig. 3 – Curve di risposta delle variabili bioclimatiche selezionate come driver del modello ottimale.

Fig. 3 – Response curve of each selected bioclimatic driver for the optimal model.

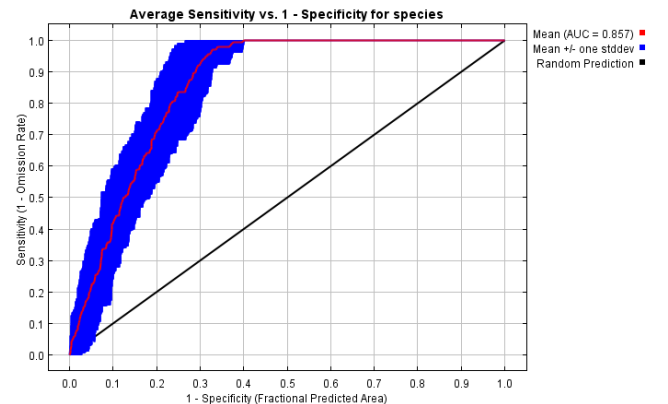


Fig. 4 - Curva ROC (Receiver Operating Characteristics) dove la sensibilità (SE) e la specificità (SP) sono definite come: $SE = TPR = TP / (TP + FN)$, $SP = 1 - FPR$, $FPR = FP / (FP + TN)$, TP: veri positivi, TN: veri negativi, TPR: frazione dei veri positivi, FPR: frazione di falsi positivi.

Fig. 4 – ROC curve (Receiver Operating Characteristics) where sensitivity (SE) and specificity (SP) are: $SE = TPR = TP / (TP + FN)$, $SP = 1 - FPR$, $FPR = FP / (FP + TN)$, where TP: true positive, TN: true negative, TPR true positive rate, FPR: false positive rate.

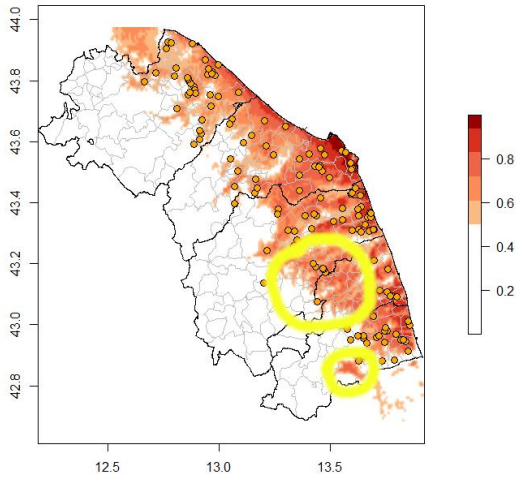


Fig. 5 – Mappa della adattabilità climatica prevista dal modello Maxent (LQH). Le linee nere e grigie rappresentano i confini amministrativi. I punti arancioni rappresentano i siti di occorrenza della *B. oleae*. I cerchi in giallo evidenziano le aree di potenziale presenza della *B. oleae* non rilevate nei monitoraggi.

Fig. 5 – Extended distribution of the climatic suitability (Maxent LQH model). Black and gray lines represent administrative limits. Orange dots represent occurrence record of *B. oleae*. The yellow circles highlight the area of potential presence of *B. oleae* not detected in monitoring.

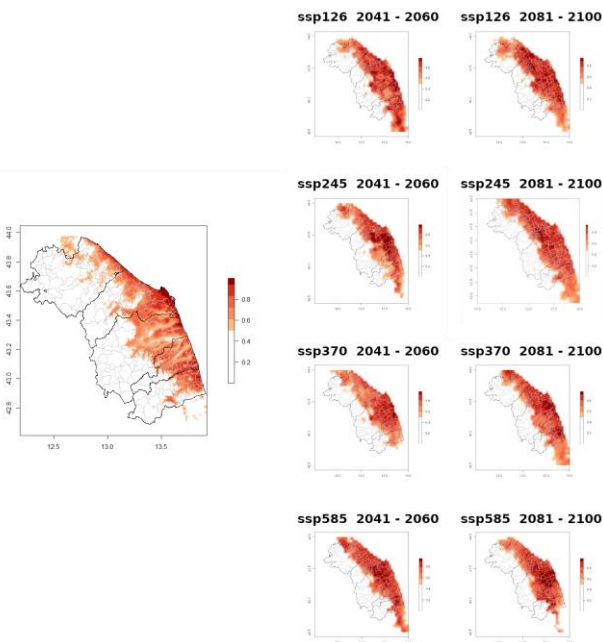


Fig. 6 – Confronto fra le mappe dell’adattabilità climatica, variabili bioclimatiche WorldClim storiche e proiettate nei due ventenni futuri 2041-2060 e 2081-2100 e per i quattro SSPs 126, 245, 370, 585.

Fig. 6 – Comparison between maps of climatic suitability, bioclimatic variables WorldClim historical and future for the 20-years 2041-2060 and 2081-2100 and for the four SSPs 126, 245, 370, 585.

Le elaborazioni del modello ottimale Maxent utilizzando le proiezioni future WorldClim delle 9 variabili bioclimatiche scelte in precedenza hanno permesso di ottenere le otto mappe di adattabilità climatica per gli scenari 126, 245, 370, 585 e ventenni 2041-2060, 2081-2100 (Fig. 6). Le mappe mostrano un’estensione verso l’entroterra dell’adattabilità climatica (p) della *B. oleae* ed un’amplificazione degli intervalli di p più elevati (valori più prossimi ad 1 evidenziati con i rossi più scuri); ciò accade in particolare nello scenario di emissione peggiore (585).

Per l’adattabilità climatica, si osserva un aumento dell’incidenza delle variabili bioclimatiche calcolate a partire dalle precipitazioni (Tab. 3). Tra le variabili termiche troviamo la *temperatura media del trimestre più siccitoso* (bio8).

Tab. 3 - Contributi percentuali di ogni variabile bioclimatica, selezionata come driver del modello ottimale, calcolati per due ventenni futuri e quattro SSPs.

Tab. 3 – Percent of contributions of each selected bioclimatic driver for the optimal model, computed for two future 20-years anche four SSPs.

SSPs	Periodo	Variabile bioclimatica	Variabile bioclimatica	Variabile bioclimatica
		1 (contributo %)	2 (contributo %)	3 (contributo %)
126	2041-2060	bio18 (34)	bio19 (22.5)	bio4 (15.3)
126	2081-2100	bio18 (23.4)	bio5 (17.1)	bio8 (16.9)
245	2041-2060	bio19 (20.6)	bio18 (19.6)	bio8 (17.1)
245	2081-2100	bio8 (39.5)	bio9 (24.2)	bio18 (18.9)
370	2041-2060	bio8 (33.2)	bio18 (25.9)	bio15 (25.2)
370	2081-2100	bio18 (25.8)	bio9 (23.5)	bio8 (19.2)
585	2041-2060	bio8 (41.5)	bio18 (24.4)	bio9 (19)
585	2081-2100	bio19 (25.6)	bio18 (24.2)	bio15 (15.3)

Conclusioni

La metodologia adoperata nel presente lavoro del modello Maxent una prestazione “buona” secondo Swets (1988). Tuttavia è da tenere conto che altri fattori possono incidere sulla distribuzione della specie in una determinata area anche se questa sulla carta risulta favorevole.

La previsione ottenuta dal modello Maxent concorda in generale con i risultati Müller et al. (2019) e di Ponti et al. (2014) ottenuti per l’area mediterranea tramite modelli costruiti attraverso algoritmi fisiologici-demografici.

In termini di variabili bioclimatiche predittive, quelle selezionate secondo il peso del loro contributo all’adattabilità climatica sono: la *temperatura media del trimestre più piovoso*, la *precipitazione del trimestre più caldo* e la *temperatura del trimestre più siccitoso*. Ciò suggerisce che la diffusione della *B. oleae* è condizionata dalle caratteristiche climatiche dei periodi stagionali più estremi dell’anno.

Il risultato ottenuto per la *temperatura del trimestre più piovoso* (ottobre-dicembre per le Marche) per cui l’adattabilità climatica p cresce oltre i 12°C, sembra

indicare che temperature pre-invernali o primo-invernali miti favoriscano la sopravvivenza delle pupe svernanti. Sul versante opposto, il drastico calo di p per elevate temperature medie del trimestre più siccitoso (l'estate per le Marche) potrebbe essere in accordo con la forte riduzione dell'attività di riproduzione della *B. oleae* osservata in campo durante le fasi estive molto calde. Infine, il fatto che il picco di p è ottenuto per valori intorno ai 170-180 mm di precipitazione nel trimestre più caldo (l'estate per le Marche) è anche questo in accordo con quanto rilevato in periodi estivi particolarmente piovosi; l'adattabilità climatica scende poi sensibilmente per precipitazioni eccessive.

Le proiezioni delle variabili bioclimatiche nei due ventenni 2041-2060 e 2081-2100 indicano che in futuro potranno avere maggiore peso quelle calcolate a partire dalle precipitazioni, sempre nei periodi dell'anno più estremi.

Naturalmente, il modello Maxent ottenuto nel presente lavoro ha dei limiti e potrebbe essere migliorato (Yackulic et al., 2013). Tuttavia, nel presente lavoro abbiamo mostrato come questo approccio può aiutare ad identificare potenziali aree a rischio di presenza di parassiti. Uno fra i nostri obiettivi è stato infatti quello di produrre una mappa di distribuzione per le Marche. Mappa che, elaborata con i dati futuri WorldClim, indicano un'estensione dell'adattabilità della *B. oleae* anche per zone dell'entroterra a quote più elevate, in accordo con quell'aumento della temperatura media prevista sul Mediterraneo dalla più accreditata letteratura scientifica. Questo fatto dovrà essere tenuto seriamente in considerazione se, in futuro, si vorrà spingere l'olivicoltura anche su quella porzione alto-collinare e montuosa dove attualmente è scarsamente sviluppata per limiti climatici. D'altra parte, un possibile freno alla colonizzazione del parassita potrà essere rappresentata dall'aumento della siccità e dalla maggiore persistenza delle ondate di calore nel corso della stagione estiva.

Ringrazimenti

Jacinto Benhadi-Marín

Bibliografia

Bactrocera oleae (Rossi, 1790) in GBIF Secretariat. 2017. GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> Accessed via GBIF.org: 09 Feb 2019.

Barbet-Massin M., Jiguet F., Albert C.H., & Thuiller W., 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 327–338.

Benhadi-Marín J., Santos S. A. P., Baptista, P., Pereira J. A., 2020. Distribution of *Bactrocera oleae* (Rossi, 1790) throughout the Iberian Peninsula based on a maximum entropy modeling approach. *Annals of Applied Biology*. 177. 10.1111/aab.12584.

CMIP6, 2022. CMIP Phase 6. World Climate Research Programme, <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip6/wgcm-cmip6>

Fick S.E., Hijmans R.J. 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. Available at <http://worldclim.org/version2>.

Hijmans R.J., Phillips S., Leathwick J., Elith J., 2017. dismo: Species distribution Modeling. Rpackage, version 1.1-4. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>

ISTAT, 2021. Agricoltura, dati e microdati. <https://www.istat.it/it/agricoltura>

Merow C., Smith M.J., Silander J.A., 2013. A practical guide to Maxent for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36, 1058–1069.

Müller F.A., Dias N.P., Gottschalk M.S., Mello F.R., & Nava D.E. (2019). Potential distribution of *Bactrocera oleae* and the parasitoids *Fopius arisanus* and *Psytalia concolor*, aiming at classical biological control. *Biological Control*, 132, 144–151.

Muscarella R., Galante P.J., Soley-Guardia M., Boria R.A., Kass J.M., Uriarte M., Anderson R.P., 2014. ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 1198–1205.

Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.

Phillips S.J., Dudík M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161–175.

Ponti L., Gutierrez A.P., Ruti P.M., Dell'Aquila A., 2014. Fine-scale ecological and economic assessment of climate change on olive in the Mediterranean Basin reveals winners and losers. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 111(15), 5598–5603.

R Core Team, 2018. R: a Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Available at: <http://www.R-project.org>.

Steven, J., & Phillips, S.J., 2009. A Brief Tutorial on Maxent. Network of Conservation Educators and Practitioners, Center for Biodiversity and Conservation, American Museum of Natural History. *Lessons in Conservation*, 3, 108–135.

Swets, J.A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293.

Tobias Sing, Oliver Sander, Niko Beerenwinkel, Thomas Lengauer., 2005. ROCR: visualizing classifier performance in R. *Bioinformatics*, 21(20), 3940–3941.

Yackulic, C.B., Chandler, R., Zipkin, E.F., Royle, J.A., Nichols, J. D., Campbell Grant, E.H., & Veran, S. (2013). Presence-only modelling using MAXENT: when can we trust the inferences? *Methods in Ecology and Evolution*, 4, 236–243.

SMART IRRIGATION SU VIGNETI DA UVA DA TAVOLA

SMART IRRIGATION ON TABLE GRAPES VINEYARDS

Onofrio Cappelluti¹, Pasquale Campi¹, Luigi Tarricone², Angelo Raffaele Caputo², Gianvito Masi², Rossana Monica Ferrara¹, Anna Francesca Modugno¹

¹ Research Centre for Agriculture and Environment, CREA-Council for Agricultural Research and Economics, Bari, 70125, Italy

² Research Centre for Viticulture and Enology, CREA-Council for Agricultural Research and Economics, Turi (BA), 70010, Italy

Author correspondent: francesca.modugno@crea.gov.it

Abstract

This study compares two irrigation treatments, empirical management based on the knowledge and experience of the farmer (CTRL) and an irrigation planning method based on the monitoring of the soil water balance and the grape phenological phase (SMART) on vines (*Vitis vinifera* L.), cv Sgrathirtyfive (Autumn Crisp® brand). Table grape variety was grafted onto 34 E.M. rootstock trained to “tendone trellis system” at a spacing of 2.5×2.5 m. The trial was conducted on a commercial farm located in southern Italy (Apulia region). Different parameters were monitored such as soil water content (SWC), stem water potential, carpometric parameters and yield per vine. The SWC was continuously measured using capacitive probes, while stem water potential with the Scholander pressure chamber, the cluster and berry characteristics by means of destructive analysis. The preliminary data showed that the use of the "SMART" irrigation technique led to the sustainable use of the water resource without yield reduction.

Parole chiave italiano

Programmazione irrigua, gestione suolo, umidità del suolo, potenziale idrico xilematico, sonde capacitive

Keywords English: Irrigation scheduling, soil water content, stem water potential, capacitive probes

Introduction

Table grape vineyards occupy large areas in the Mediterranean basin (mainly in Spain, France and Italy) and in other countries (USA, Australia, South Africa, Chile, etc.) under semiarid weather conditions (R.López-Urrea et al., 2020). In the pedo-climatic environment of southern Italy, it is impossible to grow table grape vineyards without irrigation (Borgogno-Mondino, 2018; Tarricone et al., 2021). Often the precipitation does not exceed the threshold of 500 mm/year (Campi et al., 2019), largely concentrated in the autumn-winter period and not usable during the phenological phases of greater need that are in the fruit set-ripening period (Alba et al., 2021).

In addition, the scarcity of water resources in these environments must avoid the use of empirical scheduling irrigation. With this methodology, actual irrigation amounts could be largely overestimated (E. Pizarro et al., 2022).

It is necessary to adopt sustainable solutions able to correctly determine the water consumption of the crop (crop evapotranspiration) and the use of the soil water balance connected to the dedicated sensors (Smart irrigation) represents actually a sustainable solution.

Specific research was carried out in 2021 in a typical Apulian area with a semi-arid climate suited to tablegrape cultivation of Sgrathirtyfive, a late-season white seedless table grape variety (Autumn Crisp® brand), with extra-large, oval, milky-green berry with excellent firmness and berry attachment. Two irrigation management methods were compared: empirical management based on the knowledge and experience of the farmer and smart irrigation management based on the soil water balance monitored with soil water

content sensors, microclimatic and evapotranspiration data from a weather station.

Materials and Methods

The study was carried out at a private commercial farm located in Adelfia (lat.: 40°59'14" N, long.: 16°51'34"E, elevation 172). *Vitis vinifera* cv Sgrathirtyfive (Autumn Crisp® brand), grafted onto *Vitis rupestris* × *Vitis cinerea* var. helleri 34 E.M. rootstock were spaced 2.50×2.50 m apart (1600 vines ha⁻¹), pruned at 30 buds per vine and trained to an overhead tendone system (Apulia type), drip irrigated and covered on top with net and plastic film from budbreak to harvest to protect canopy and clusters from the negative effects of wind, rain and hail.

A polyethylene plastic film was provided (by Aniplast Srl., Noicattaro, Italy) with a 200 µm sheet thickness. The vine mineral nutrition and canopy management were performed according to the farm practice. A total of 132 vines were involved in the trial, divided into two blocks.

The test includes two irrigation treatments: empirical irrigation management based on the knowledge and experience of the farmer (CTRL) and precision irrigation based on monitoring of soil water balance and the phenological stage of the vines (SMART). Irrigation water was supplied by a drip irrigation system having 3 drippers per vine and a flow rate of 16 l h⁻¹ per dripper.

The agrometeorological data (daily rainfall, minimum and maximum temperatures, relative air humidity, solar radiation, wind speed) were provided by an agrometeorological station located at a short distance from the experimental site. Soil water content (SWC, m3 m⁻³) in

CTRL and SMART treatment was monitored using capacitive probes (10HS, Decagon Devices Inc., USA) at -0.2 and -0.4 m from the soil surface replicate 3 times (Fig. 1). Soil texture was classified as clay (USDA Soil Survey Staff, 1975). At 0.5 m of depth is present a parent rock that reduces the capacity of the root systems to expand beyond this layer. In order to assess the vine water status and monitor the effect of the irrigation schedule, midday stem water potential was measured on 10 leaves of similar maturity per treatment, with a pressure chamber (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara CA, USA) once or twice a month in 5 vines per treatment. Stem water potential was measured on leaves that were bagged with both a plastic sheet and aluminum foil for at least 1 hour before measurement, to prevent their transpiration and their water potential reach equilibrium with the water potential in the stems (Fig. 2).

Grapes were commercially harvested at the end of October when they reached $\sim 18^\circ\text{Brix}$. On 20 bunches per treatment, the following parameters were assessed: bunch and berry weight, berry diameters. On the berry juice, total soluble solids (T.S.S.) by digital refractometer (Atago Co. Ltd., Japan), pH and titratable acidity expressed as tartaric acid (T.A., neutralization with NaOH 0,1 N) were assessed. Statistical analysis conducted on SWC and cluster size in the two different treatments were obtained by daily averages. The ANOVA was used to analyze the significant difference in the fruit grown in the treatments. The statistical analyzes were computed using the R statistical software environment (<http://www.r-project.org>).



Fig. 1 (a) Sonde Capacitive 10HS posizionate nel terreno e collegate al data logger, (b) Sonda Capacitiva 10HS.

Fig. 1 (a) 10HS Capacitive Probes placed in the ground and connected to the data logger, (b) 10HS Capacitive Probe.



Fig. 2 Tecnica della camera a pressione (camera a pressione di Scholander) per la determinazione del potenziale xilematico.

Fig. 2 Pressure chamber technique (Scholander pressure chamber) for the determination of the stem water potential.

Results and Discussion

Figure 3 shows the evolution of daily air temperature values ($^\circ\text{C}$) (average) and relative humidity air (%) during the observation period (April 4th - October 31th 2021).

The average air temperature during the observation period was 22°C . The minimum temperature was below 10°C only on one occasion at the beginning of the growing cycle and did not affect yield per vine. The maximum temperature reached values between 30 and 35°C on several occasions during the growing cycle, between 23 June and 5 August.

The rainfall recorded during the observation period was only 48 mm.

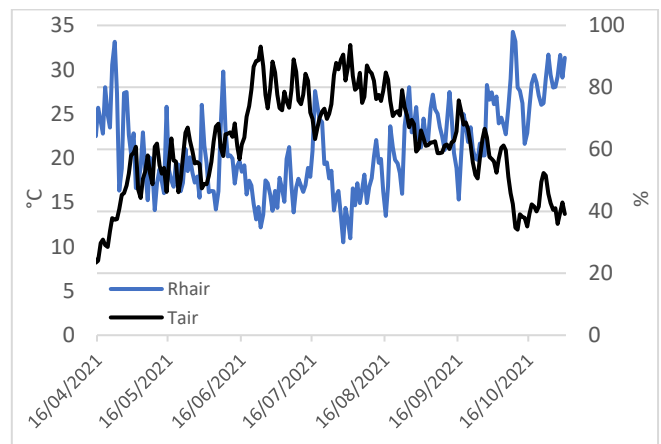


Fig.3 Temperatura media dell'aria ($^\circ\text{C}$) e umidità relativa dell'aria (%).

Fig.3 Average air temperature ($^\circ\text{C}$) and relative air humidity (%).

The irrigations volume (mm) for both the CTRL and SMART are shown in figure 4. The number of irrigations during 2021 season was 12. The programmed irrigations were always higher, in terms of quantity, for the CTRL versus SMART irrigation, except for July 13-24 and September 28.

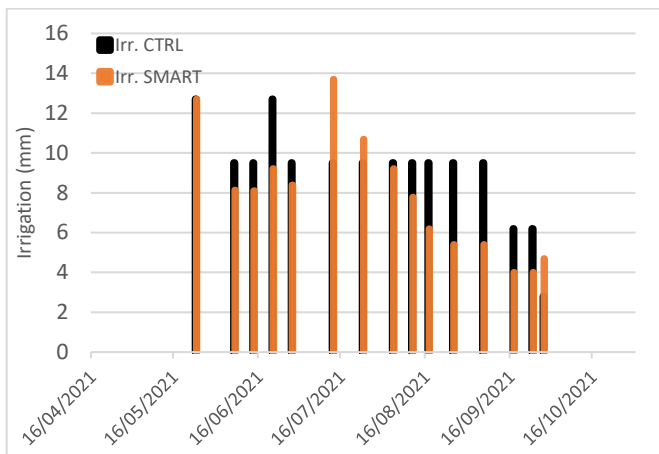


Fig. 4 Stagione irrigua 2021, valori delle irrigazioni (mm) nelle tesi CTRL e SMART.

Fig. 4 Irrigation season 2021, irrigation values (mm) for CTRL and SMART treatment.

Daily values of SWC are shown in figure 5 and they refer to the soil moisture of the topsoil layer, between 0 and 0.4 m depth.

The SWC values of the two treatments ranged generally between the wilting point and field capacity. Irrigation scheduling prevented from exceeding field capacity. At the same time, the irrigation scheduling never allowed the SWC to reach the wilting point, despite the high values of evapotranspiration and low precipitations. The field capacity is exceeded only in the case of the CTRL. In this case, the irrigations made by the CTRL were excessive. The soil water content shows the same trend in the two treatments in almost all of the irrigation season.

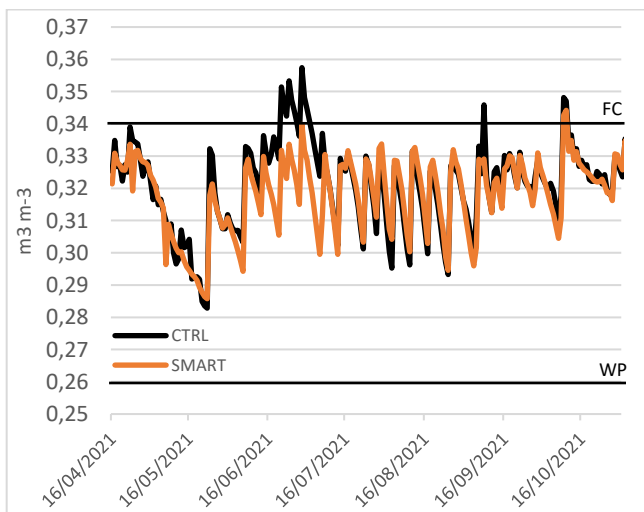


Fig. 5 Contenuto idrico del suolo medio ($m^3 m^{-3}$) nei due trattamenti, CTRL (gestione irrigua sulla base della conoscenza e dell'esperienza dell'agricoltore) e SMART (gestione irrigua di precisione).

Fig. 5 Average soil water content ($m^3 m^{-3}$) in the two treatments, CTRL (irrigation management based on the knowledge and experience of the farmer) and SMART (smart irrigation management).

Figure 6 shows the evolution of the midday stem water potential during the growing season. During the whole crop cycle, the highest midday stem water potential was observed in treatment CTRL, where the irrigation water was supplied in a higher dose. The lowest values were measured in the SMART treatment. Ψ_{mds} ranged from -0.53 to -0.20 MPa. Despite this, the average midday stem water potential measured during the vegetative cycle does not indicate water stress in grapevines, in both treatments.

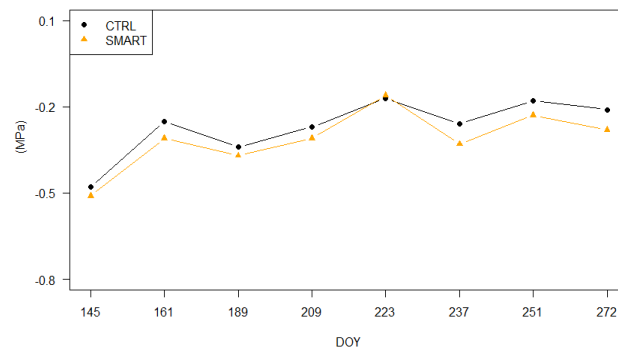


Fig. 6 I valori del potenziale idrico fogliare di mezzogiorno misurati nei trattamenti CTRL e SMART con camera la a pressione di Sholander nei DOY (giorni dell'anno) del 2021. Fig. 6 The midday stem water potential values measured in the treatments CTRL and SMART .

At harvest, all bunches per each experimental unit were harvested (Fig. 7).

The unitary yield of the vineyard for the SMART treatment, 37.58 tons, was higher than the unit yield of the CTRL, 35.21 ton/ha.



Fig. 7 Raccolta delle uve nelle due parcelle, CTRL (controllo) e SMART (irrigazione di precisione...)

Fig. 7 Grape harvest in the two treatments, CTRL (control) and SMART (smart irrigation).

Water availability significantly affected berry growth, inducing the lowest bunch and berry weight in the CTRL treatment that received the highest watering volumes. Probably in relation to the soil characteristics with fissured

rock banks the excess of irrigation water was lost by deep percolation. Bunch weight decreased respectively by 27% in CTRL treatment respect to SMART irrigated vines. Also, berry weight and berry diameters were significantly affected by the irrigation treatments (Tab. 1). Compared to SMART treatment, a yield decline of 20% was observed for CTRL, due to both a reduction in bunch size and berry weight (-16%) while cluster number per vine was not statistically different. In this trial, the total soluble solids concentration and juice pH were influenced by the watering volumes. Indeed, the lowest value of TSS was observed for the SMART irrigated vines (-8%). Juice pH reached the lowest value in the CTRL vines (Tab. 2)

Tab.1 Effetti del regime di irrigazione sulle componenti di resa

Tab. 1 Effects of the irrigation regime on yield components.

Treatment	Bunch weight (g)	Berry weight (g)	Berry length (mm)	Berry diameter (mm)
CTRL	498.96 b	7.60 b	26.94 b	22.98 a
SMART	680.04 a	9.10 ^a	28.32 a	23.79 a

In column, means followed by different letters were significantly different at P=0.05 using SNK test.

Tab 2 Effetti del regime di irrigazione sulla composizione del succo d'uva

Tab. 2. Effects of the irrigation regime on berry juice composition.

Treatment	T.S.S. (°Brix)	T.A. (g L ⁻¹)	pH
CTRL	19.20 a	4.24 a	3.66 b
SMART	17.60 b	4.11 a	3.78 a

In column, means followed by different letters were significantly different at P=0.05 using SNK test.

Conclusions

According to the preliminary results of this study, the application of a precision irrigation favored the water status and the cluster and berry size probably in relation to higher metabolic activity. In addition, from this study emerges the utility of midday stem water potential as an interesting tool for irrigation monitoring on table grape vines. Evaluating the entire reference period from bud break to harvest (April - October), the use of the "SMART" irrigation technique, led to the use sustainable of water resource (CTRL 140.1 mm, SMART 122.1 mm). This approach has given way to generating both economic and water resource savings.

Acknowledgments

This study was financially supported by the PSR-Regione Puglia-INNOFRUIT (P.S.R. Puglia 2014/2020 - Misura 16 – Cooperazione - Sottomisura 16.2 “Sostegno a progetti pilota e allo sviluppo di nuovi prodotti, pratiche, processi e tecnologie”. Avviso Pubblico approvato con D.A.G. n. 194 del 12/09/2018, pubblicata nel B.U.R.P. n. 121 del 20/09/2018. Titolo del progetto: Sostenibilità ad innovazione

References

- Alba V., Gentile G., Tarricone L., 2021. Climate change in a typical Apulian region for table grape production: spatialisation of bioclimatic indices, classification and Future Scenarios. *OENO ONE*, Vol. 55 No. 3, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.20870/oenone.2021.55.3.4733>
- Borgogno-Mondino E., Novello V., Lessio A., Tarricone L. and de Palma L., 2018. Intra-vineyard variability description through satellite-derived spectral indices as related to soil and vine water status. *Acta Hort.* 1197, 59-68 DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1197.8>
- Campi P., Mastrorilli M., Stellacci A. M., Modugno F., Palumbo A. D. (2019). Increasing the effective use of water in green asparagus through deficit irrigation strategies. *AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT*, vol 217, p 119-130
- López-Urrea R, Sánchez J.M., Montoro A., Mañas F., Intrigliolo D.S., 2020. Effect of using pruning waste as an organic mulching on a drip-irrigated vineyard evapotranspiration under a semi-arid climate. *Agricultural and Forest Meteorology* Volume 291,
- Pizarro E., Galleguillos M., Barría P., Callejas R., 2022. Irrigation management or climate change? Which is more important to cope with water shortage in the production of table grape in a Mediterranean context. *Agricultural Water Management* Volume 263, 107467
- Tarricone L., Dragonetti G. and Verrastro V., 2021. A method to predict the time of harvesting based on water consumption and changes in berry composition of table grapes ('Superior Seedless®') under plastic sheet covering. *Acta Hort.* 1311. ISHS 2021. DOI [10.17660/ActaHortic.2021.1311.39](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1311.39). Proc. VI Int. Symp. on Applications of Modelling as an Innovative Technology in the Horticultural Supply Chain - Model-IT 2019. Eds.: M.L. Amodio and G. Colelli:311-318.
- U.S. Dept. of Agriculture. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. 1975. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. U.S. Dept. of Agric. Handb. 436. U.S. Govt. Print. Off. Washington, DC. 754 pp

VALIDAZIONE DELLA FENOLOGIA DELLA VITIS VINIFERA CON IL MODELLO DI CRESCITA IVINE, CALBRATO SU VARI VITIGNI ITALIANI

VALIDATION OF THE PHENOLOGY OF VITIS VINIFERA WITH THE IVINE CROP MODEL, CALIBRATED ON VARIOUS ITALIAN GRAPE VARIETIES

Claudio Cassardo^{1*}, Valentina Andreoli¹, Martina Traversa¹

¹ Dipartimento di Fisica e Centro NatRisk, Università di Torino, Italia

* claudio.cassardo@unito.it

Abstract

The IVINE numerical model (Italian Vineyard Integrated Numerical Model for Estimating Physiological Values) simulates the growth of the vine by studying their phenological and physiological processes. Developed in our Department and initially applied only to the Nebbiolo cultivar, it was subsequently calibrated for other national and international grape varieties. This presentation presents the results of calibration and validation procedures for new varieties in two Italian regions (Veneto, Tuscany). The input data necessary for IVINE were extracted partly from the GLDAS database and partly from the outputs of the simulations conducted with the UTOPIA model (University of Turin model of land Process Interaction with Atmosphere). The variables studied were the following phenological phases: exit from dormancy, budding, flowering, fruit set, beginning of ripening, veraison, and harvest.

Parole chiave

Modelli di crescita, fenologia, fisiologia, vigne, GLDAS

Keywords

Crop modeling, phenology, physiology, vineyards, GLDAS

Introduzione

L'agrometeorologia studia le relazioni esistenti tra le variabili meteorologiche e le diverse componenti dell'agroecosistema e risulta molto utile per supportare le decisioni nel settore agricolo. I modelli di crescita, le cui prime versioni furono sviluppate negli anni '60 del secolo scorso, permettono di simulare gli scenari delle fasi di sviluppo delle piante e studiarne l'evoluzione nel tempo al fine di comprenderne meglio i processi di crescita, le interazioni tra coltivazione e ambiente, e i processi vegetativi, in modo da essere uno strumento prezioso che aiuti i produttori a decidere come intervenire precocemente sulla pianta e sull'agro-ecosistema, e come scegliere i metodi e i luoghi di coltivazione, al fine di ottimizzare la produzione. Questo tipo di modelli richiede in input la caratterizzazione della variabilità microfisica (stimabile usando le condizioni meteorologiche specifiche del territorio e le caratteristiche della vegetazione), mentre in uscita fornisce le caratteristiche, le fasi fenologiche e vegetative delle piante esaminate e dei loro frutti. Tra le varie piante di interesse agricolo, la vite è una pianta molto robusta ma risulta molto sensibile alle condizioni ambientali, e in Italia le produzioni vitivinicole rappresentano una componente essenziale per l'agricoltura nazionale sia in termini qualitativi, sia in termini economici, tanto è vero che la produzione di vino negli anni ha consolidato il primato italiano in merito alla produzione mondiale di vino, almeno a livello di volume; l'andamento delle esportazioni continua il suo trend espansivo (Gismondi, 2020). Questo studio è dedicato alla calibrazione e alla validazione del modello di crescita della vite denominato IVINE e sviluppato presso il nostro Dipartimento (Andreoli et al., 2019), che può simulare

l'andamento giornaliero di un'ampia gamma di parametri fenologici e fisiologici dei vigneti utilizzando equazioni fisiche (es. fotosintesi, zucchero, bilancio idrico) e relazioni empiriche (es. fasi fenologiche), in modo da poterne ampliare l'area di applicazione a gran parte del territorio vitato dell'Italia centro-settentrionale. La scelta dei siti usati per calibrazione e validazione è stata effettuata valutando l'esistenza di serie di misure dei parametri feno-fisiologici lunghe almeno una decina di anni. Dal momento che è stato pressoché impossibile reperire le informazioni meteorologiche necessarie per il funzionamento del modello IVINE, si è deciso di ricavare alcuni input meteorologici da un database internazionale (GLDAS) e altre variabili mediante l'uso di un modello SVAT (Soil Vegetation Atmosphere Transfer scheme), anch'esso usante come dati al contorno i valori estratti da GLDAS. Una breve descrizione di GLDAS e del modello usato si trova nella prossima sezione.

Materiali e Metodi

a. Il database GLDAS

Il Global Land Data Assimilation System (GLDAS) (Rodell et al., 2004) è un database globale di valori provenienti dall'assimilazione di misure sperimentali al suolo e da satellite e uscite di modelli meteorologici globali e regionali sviluppato congiuntamente da: Goddard Space Flight Center (GSFC), National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), e National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Delle due versioni esistenti in rete, ad accesso libero, in questo studio è stata utilizzata la 2.0 (GLDAS-2), i cui dati coprono il periodo temporale 1948–2014. La

risoluzione spaziale di GLDAS-2 è di 0.25° (in latitudine e longitudine) e quella temporale di 3 ore. Per questo lavoro sono stati selezionati i dati relativi ai punti griglia più prossimi ai vigneti considerati. I dati prescelti sono: intensità del vento, rateo di precipitazione, temperatura, umidità specifica dell'aria, pressione atmosferica, radiazione a onda corta e lunga, che costituiscono le condizioni al contorno richieste da UTOPIA, oltre ai valori delle coordinate geografiche, della tessitura del suolo e della tipologia della vegetazione.

b. Il modello UTOPIA

Il modello University of Torino model of land Process Interaction with Atmosphere (UTOPIA), sviluppato in Fortran presso il nostro Dipartimento (Cassardo e Andreoli, 2019), è un modello diagnostico unidimensionale che studia le interazioni all'interfaccia tra lo strato superficiale atmosferico e il terreno, inclusa la vegetazione. Il modello è stato testato utilizzando dati misurati, o dati di campagne sperimentali di misura, o accoppiati con modelli a circolazione atmosferica. UTOPIA rappresenta i processi fisici tra atmosfera, superficie terrestre e vegetazione, e rientra nella categoria dei modelli *bigleaf*, in cui la complessità della vegetazione, rappresentata come una singola grande foglia, è rappresentata dal *Leaf Area Index*. UTOPIA è un modello diagnostico che, a partire dai dati al contorno, descrive gli scambi di energia, quantità di moto e vapore acqueo tra l'atmosfera ed il suolo, vegetato o no. Anche la presenza di uno strato di neve sopra il suolo o la vegetazione viene considerato (Cassardo e Andreoli, 2019), così come viene considerata la possibilità del congelamento dell'acqua nel suolo. I parametri relativi alla vegetazione e al suolo (temperatura e contenuto di acqua) vengono valutati tramite equazioni di bilancio. In particolare, per il suolo UTOPIA usa uno schema multistrato. Le caratteristiche di suolo e vegetazione sono codificate rispettivamente in 34 tipologie di vegetazione o *land use* e 14 tipi di tessitura del suolo. In questo studio si è usato il codice 26, riferito ai vigneti. Il modello UTOPIA, che è unidimensionale, ovvero funziona su un unico punto (stazione) in cui l'unica direzione considerata è quella verticale (dallo strato superficiale atmosferico al suolo profondo), prevede anche la valutazione dei termini del bilancio del carbonio (legato alla fotosintesi), ma in questo studio non è stato considerato. In questo studio, le uniche uscite di UTOPIA prese in considerazione sono state quelle relative alle variabili nel sottosuolo: la temperatura e il contenuto volumetrico di acqua del suolo, in alcuni strati specifici.

c. Il modello IVINE

Il modello Italian Vineyard Integrated Numerical model for Estimating physiological values (IVINE – Andreoli et al., 2019) è un modello numerico progettato e sviluppato in Fortran presso il nostro Dipartimento in modo da simulare le principali condizioni fenologiche e fisiologiche della vite durante la sua crescita. Per il suo funzionamento, richiede come dati al contorno i seguenti parametri meteorologici, a rateo orario: temperatura e umidità relativa dell'aria, radiazione solare globale, radiazione fotosinteticamente

attiva, direzione e velocità del vento, pressione atmosferica, e temperatura e contenuto volumetrico di acqua in due strati del sottosuolo (rispettivamente alle profondità di 34 e 106 cm). IVINE necessita di ulteriori dati iniziali: le informazioni geografiche (latitudine, longitudine), la tessitura del suolo, le informazioni sul vigneto (densità dell'impianto e dati di gestione del vigneto: numero e date di cimature e diradamento, e ulteriori parametri specificamente legati alla varietà considerata (soglie termiche per le fasi fenologiche, valore del contenuto zuccherino per l'inizio della maturazione, l'invaiaura e la raccolta, numero medio di grappoli per pianta e di acini per grappolo). Qualora tutti questi dati siano disponibili per un lungo intervallo temporale, diventa possibile eseguire simulazioni di respiro climatico (ad esempio, il database GLDAS, come detto, contiene dati nel periodo 1948-2014). Le uscite di IVINE sono: le date in cui si raggiungono le fasi fenologiche, la resa delle piante, il contenuto zuccherino degli acini, il peso degli stessi, il potenziale idrico fogliare, e il *LAI*. Qui nel seguito si riportano alcune parametrizzazioni utili per la comprensione del lavoro effettuato in questo studio. IVINE simula le fasi fenologiche delle viti a partire da soglie termiche definite per ogni varietà. Quando la somma termica raggiunge la soglia termica selezionata per la fase in analisi, il modello segnala il verificarsi di tale fase e inizia il calcolo per la fase successiva. La prima fase è l'uscita dalla dormienza, a cui seguono il germogliamento, la fioritura, l'allegagione, l'inizio della maturazione, l'invaiaura e infine la raccolta. A questo punto il modello si resetta e riparte dal calcolo dell'uscita dalla dormienza per l'anno successivo.

IVINE inizia il calcolo delle *chilling units* (CU) relative all'ingresso della pianta in dormienza il 1° agosto. L'uscita dalla dormienza si verifica nel momento in cui IVINE raggiunge la soglia termica di 100 CU (Garcia de Cortazar Atauri, 2009). La formula usata è:

$$Cu_n = Q^{-T_x(n)/10} + Q^{-T_n(n)/10}$$

in cui T_x e T_n sono la temperatura massima e minima giornaliera, $Q=2.7$ (Garcia de Cortazar Atauri, 2009), mentre n indica il giorno. Per la fase successiva del germogliamento si sommano le temperature orarie a partire dal raggiungimento della fase precedente, valutando le *Growing Degree Hours* (GDH) (Richardson et al., 1974; Richardson et al., 1975; Garcia de Cortazar Atauri, 2009) fino al raggiungimento della soglia GDH impostata per la varietà. Il calcolo di GDH è dato da $GDH = \sum T_r(h, n)$ dove i valori $T_r(h, n)$ sono calcolati nel modo seguente:

$$T_r(r, n) = \begin{cases} 0 & T(h, n) < T_{0BC} \\ T(h, n) - T_{0BC} & T_{0BC} \leq T(h, n) \leq T_{MBC} \\ T_{MBC} - T_{0BC} & T(h, n) > T_{MBC} \end{cases}$$

a partire dalle temperature all'ora h del giorno n , e dove $T_{0BC} = 5^\circ\text{C}$ e $T_{MBC} = 25^\circ\text{C}$ (Andreoli et al., 2019). Raggiunta la fase del germogliamento, si sommano i Growing Degrees Days (GDD) fino al raggiungimento della relativa soglia termica per la varietà considerata. I GDD sono valutati come $GDD = \sum [T_{av}(n) - T_{base}(n)]$ dove T_{av} è la temperatura media giornaliera del giorno n e $T_{base} = 10^\circ\text{C}$ (Andreoli et al., 2019). Un calcolo analogo, ma con una soglia diversa, viene effettuato per l'allegagione. Invece, per le fasi

dell'inizio della maturazione, dell'invaiaitura e della raccolta, si effettuano due calcoli concomitanti, valutando da un lato il GDD e dall'altro il contenuto zuccherino negli acini; la fase viene raggiunta quando entrambi gli indici raggiungono la sua soglia per quella fase.

La misura della vigoria della pianta è valutata mediante il parametro LAI (m^2 di foglie per m^2 di suolo) (Brisson, 2002; Singels e de Jager, 1991), calcolato dal germogliamento all'invaiaitura con la formula $LAI = \Delta_l F_T DENS I_W$ dove (Brisson, 2002) Δ_l è il rateo di espansione giornaliera della superficie della foglia, la funzione F_T è legata alla differenza tra le temperature media e minima giornaliere ($^{\circ}C$), $DENS$ è la densità di piante del vigneto, e I_W è l'indice di stress idrico. Il valore di contenuto zuccherino (BSC, berry sugar content) è un indice universalmente utilizzato per monitorare la maturazione dell'uva, e nel modello IVINE viene calcolato a partire dall'inizio della fase della fioritura con la formula $BSC = \sigma_{Brix} BSC_{max}$ dove BSC_{max} è il valore massimo del contenuto zuccherino e dipende dalla varietà, mentre σ_{Brix} è un fattore di normalizzazione minore di 1, dipendente dalla varietà e dalla soglia termica.

Il raccolto (Yield, kg/vine) è calcolato anch'esso a partire dall'inizio della fase della fioritura, usando la seguente equazione: $Yield = 5.5 \frac{DM_{cluster}}{D_p}$ dove $DM_{cluster}$ è l'accumulo di sostanza secca nei grappoli di vite e D_p è la densità dell'impianto, mentre 5.5 è un coefficiente empirico (Cola et al., 2014).

I parametri caratteristici di ogni varietà che devono essere inizializzati nel modello IVINE sono riportati nel Sottoparagrafo che segue.

d. Calibrazione e validazione del modello IVINE

Dovendo eseguire la calibrazione di IVINE in modo da ottimizzarlo per la varietà considerata, e la successiva validazione su un insieme diverso da quello usato per la calibrazione, in modo da verificare la correttezza degli output confrontandoli con i dati misurati e osservati, o eventualmente con gli output di altri modelli già precedentemente validati, si sono dovute prendere in considerazione serie di misure sufficientemente lunghe in maniera da poter poi avere una statistica sufficiente per entrambe le operazioni. Per mancanza di dati, non è però stato possibile calibrare tutti i parametri necessari a IVINE; in tale caso, i valori di riferimento per tali parametri sono stati cercati in letteratura o ricavati da lavori precedenti (Andreoli et al., 2019). La calibrazione è stata effettuata eseguendo diverse simulazioni e variando, uno per volta, i parametri relativi al processo considerato (ad es. una specifica fase), scegliendo i valori per i quali i valori simulati approssimavano meglio quelli osservati (Traversa, 2021). Una volta fissati tali valori, si passava alla calibrazione del parametro successivo.

Dal momento che il periodo preso in considerazione, in tutti i casi, appartiene all'ultimo trentennio, in cui il cambiamento climatico ha alterato in maniera consistente i valori di alcuni parametri meteorologici, si è pensato che ripartire in due periodi di uguale ampiezza temporale, il primo per la

calibrazione e il secondo per la validazione, potesse non essere la scelta ottimale. Per questo motivo si è scelto di ripartire i due periodi nel modo seguente: gli anni dispari (il primo, il terzo, il quinto, ecc.) per la validazione, e gli anni pari (il secondo, il quarto, il sesto, ecc.) per la calibrazione.

Risultati, Discussione e Conclusioni

Il modello IVINE è stato calibrato per il Veneto utilizzando i dati sperimentali raccolti in due campagne di osservazione e disponibili sul sito web di "ExtendaVitis" (<https://www.extendavitis.it/>), relativi ai vitigni Vitis vinifera cv Chardonnay (1986-2014), Glera (1992-2014), Merlot e Cabernet Sauvignon (1986-2014). Sono state individuate le soglie termiche e i parametri per le fasi fenologiche del germogliamento, della fioritura, dell'allegagione, dell'inizio della maturazione, dell'invaiaitura e della raccolta specifici per ogni vitigno. In Toscana, IVINE è stato calibrato utilizzando i dati disponibili sul sito web di AgroAmbiente.info (<http://agroambiente.info.regione.toscana.it/agro18/>) per quattro vigneti di Sangiovese, situati nei comuni di Roccastrada (Gr), Radda in Chianti (Fi), Greve in Chianti (Si), e Montespertoli (Fi) e relativi al periodo 2006-2014; qui il terzo sito è stato usato per la calibrazione e gli altri per la validazione.

In un'analisi preliminare si è verificato che due fasi fenologiche (germogliamento, fioritura) sono notevolmente anticorrelate con la temperatura dell'aria e del suolo, mentre l'invaiaitura è discretamente correlata con il contenuto volumetrico di acqua nel suolo. Questo conferma la scelta di implementare in IVINE il calcolo del raggiungimento delle fasi del germogliamento e della fioritura usando soltanto le somme termiche, mentre per l'invaiaitura ci si può attendere un errore maggiore (effettivamente poi osservato) simulandone il raggiungimento solo con le somme termiche, e per questo si è deciso di usare anche una soglia per il contenuto zuccherino, il cui valore dipende anche, indirettamente, dall'umidità del suolo. Inoltre, si è deciso di non considerare la fase fenologica della raccolta poiché i dati osservati relativi alla vendemmia dipendono in modo significativo dalle scelte dell'agricoltore o dell'azienda, che possono differire da una definizione di maturazione basata sul raggiungimento di una data soglia termica e/o di un dato valore zuccherino.

A titolo di esempio, si mostrano i risultati della calibrazione e della validazione per due varietà (Chardonnay e Glera) in Figura 1.

Nel complesso, si può concludere che la manifestazione delle fasi risulta ben simulata dal modello IVINE per quanto riguarda il germogliamento, la fioritura e l'allegagione, anche se vi sono alcune eccezioni in alcuni anni, relativamente alle varietà Glera, Chardonnay e Cabernet Sauvignon, mentre per il Merlot si riscontrano alcune sottostime più evidenti nel raggiungimento dell'invaiaitura, e per il Sangiovese nella fioritura. Più in generale, la validazione mostra risultati quasi sempre statisticamente significativi per le varietà in Veneto, ma non sempre per quelle in Toscana, dove comunque la disponibilità di dati era inferiore a quella del Veneto.

Tab. 1: Parametri di IVINE ottimizzati per diversi vitigni (le sigle sono spiegate nel testo).

Tab. 1: IVINE parameters optimized for different grape varieties (the abbreviations are explained in the text).

Param.	Bar	Neb	Cha	Gle	Mer	CaS	San
STUD	100	100	100	100	100	100	100
STG	6500	8050	5500±300	5000±400	5700	7300	5400
STF	340	370	219±13	235±15	230	235	250
STA	50	50	80	55	75	75	50
STIM	830	830	650	550	550	600	650
STIV	40	40	40	40	40	40	40
STR	600	600	400	400	400	400	400
GGR	1500	1600	1250	1350	1350	1300	1400
NGPp	14	11	25	21	20	25	11
NGPd	14	10	25	20	19	23	10
GD	220	220	220	220	220	220	220
NAGI	105	155	105	120	90	105	155
NAGP	120	160	120	130	105	120	160
CZM	26	25	19	17	20,5	20	23
CZIM	10	10	6	6	6,5	7	11
CZI	12,5	12,5	7	8	9,5	9	12
LAIMAX	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,15	0,15
CIM1	154	154	154	154	154	154	154
CIM2	200	200	200	200	200	200	200
CIM3	220	220	220	220	220	220	220
DI	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42

La tabella 1 riporta i parametri determinati in questo lavoro. Le sigle nella prima colonna significano: STUD (soglia termica per l'uscita dalla dormienza, in GDH); STG (soglia termica per il germogliamento, in GDH); STF (soglia termica per la fioritura, in GDD); STA (soglia termica per l'allegagione, in GDD); STIM (soglia termica per l'inizio della maturazione, in GDD); STIV (soglia termica per l'invaiaitura (GDD); STR (soglia termica per la raccolta (GDD); GGR (gradi giorno nel giorno della raccolta (GDD); NGPp (numero medio grappoli/ pianta dopo il diradamento); NGPd (numero medio grappoli/ pianta dopo il diradamento); GD (giorno del diradamento, GG); NAGI (numero medio di acini/grappolo iniziale); NAGP (numero medio di acini/grappolo potenziale); CZM (contenuto zuccherino alla raccolta, in °Brix); CZIM (contenuto zuccherino all'invaiaitura, in °Brix); LAIMAX (valore massimo di LAI, in m²foglie m⁻²suolo); CIM1, CIM2, CIM3 (giorno giuliano in cui avvengono la prima, la seconda e la terza cimatura, GG); DI (densità di impianto, numero piante m⁻²). Le sigle nella prima riga significano: Bar=Barbera, Neb= Nebbiolo, Cha=Chardonnay, Gle=Glera, Mer=Merlot, CaS=Cabernet Sauvignon, San=Sangiovese.

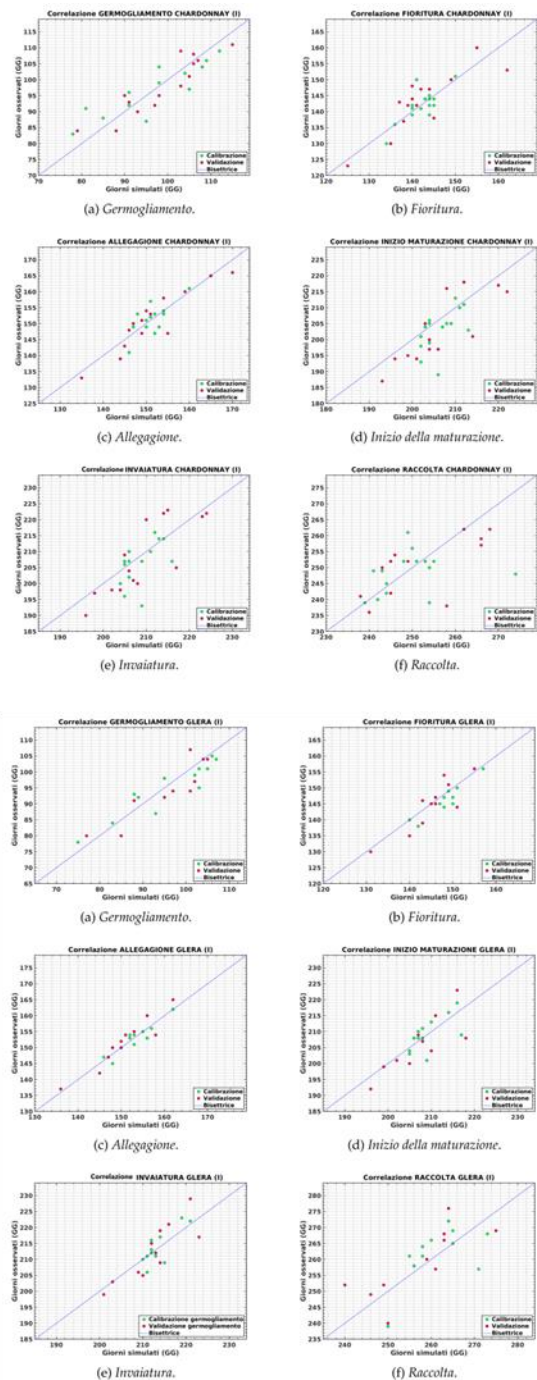


Fig. 1: Correlazione tra l'occorrenza di quattro fasi fenologiche osservate e simulate per la varietà Chardonnay durante la prima campagna di misure (in alto) e per la varietà Glera durante la seconda campagna di misure (in basso).

Fig. 1: Correlation between the occurrence of four phenological phases observed and simulated for the Chardonnay variety during the first measurement campaign (top) and for the Glera variety during the second measurement campaign (bottom).

I maggiori limiti che hanno impedito risultati migliori in questo studio sono due. Il primo è legato alla disponibilità di dati. Pur avendo trovato dei dataset utili per impostare l'analisi su varietà e in località diverse, la scarsità dei dati ha permesso un'analisi statistica efficace solo su alcuni dati relativi alle varietà in Veneto, tenendo conto che si è dovuto ripartire il periodo in due, e che le varie annate hanno mostrato condizioni meteorologiche significativamente diverse. Il secondo è invece legato alla scarsa qualità dei dati meteorologici GLDAS (la cui risoluzione è insufficiente). Inoltre, IVINE non considera la pendenza del terreno e la sua esposizione geografica, che invece possono essere determinanti sul processo di crescita e di maturazione. Questo secondo limite potrebbe essere superato fornendo a IVINE in input dati che tengano già conto di queste caratteristiche, ma in questo lavoro la bassa risoluzione del database GLDAS non ha consentito di agire in questo modo. Nonostante questi punti critici, si ritiene comunque che il lavoro abbia prodotto un risultato in generale interessante poiché ora è possibile applicare il modello IVINE a molte più varietà usando dei parametri determinati sperimentalmente.

Bibliografia

Andreoli V., Cassardo C., La Iacona T., Spanna F., 2019. Description and Preliminary Simulations with the Italian Vineyard Integrated Numerical Model for Estimating Physiological Values (IVINE). *Agronomy*, 9, 94, 21 pp.

Brisson, N., 2002. *Notices Concepts et Formalismes STICS Version 5.0*. INRA-Bioclimatologie Avignon: Avignon, France.

Cassardo C., Andreoli V., 2019. On the Representativeness of UTOPIA Land Surface Model for Creating a Database of Surface Layer, Vegetation and Soil Variables in Piedmont Vineyards, Italy. *Appl. Sci.*, 9, 3880, 21 pp.

Cola G., Mariani L., Salinari F., Civardi S., Bernizzoni F., Gatti M., Poni S., 2014. Description and testing of a weather-base model for predicting phenology, canopy

development and source-sink balance in *Vitis vinifera* L.cv. Barbera. *Agric. For. Meteorol.*, 184, 117–136.

Garcia de Cortazar A., Brisson N., Gaudillere J.P., 2009. Performance of several models for predicting budburst date of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Int. J. Biometeorol.*, 53, 317–326.

Gismondi R., 2020. Un'analisi integrata delle principali fonti statistiche e amministrative sulla produzione di vino in Italia. *Istat working papers*, n. 8, 46 pp.

Richardson E.A., Seeley S.D., Walker R.D., 1974. A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. *Hort. Science*, 9, 331–332.

Richardson E.A., Seeley S.D., Walker R.D., Ashcroft G., 1975. Pheno-climatology of spring peach bud development. *HortScience*, 10, 236–237.

Rodell M., Houser P. R., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.-J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J. K., Walker J. P., Lohmann D., Toll D., 2004. The Global Land Data Assimilation System. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 85, 381–394.

Singels A., de Jager J. M., 1991. Refinement and validation of the PUTU wheat crop growth model. 2. Leaf area expansion. *Afr. J. Plant Soil*, 8, 67–72.

Traversa M., 2021. Validazione dei processi fenolo-fisiologici della vite parametrizzati dal modello di sviluppo IVINE calibrato su vari vitigni italiani. Tesi magistrale di laurea in fisica, Dipartimento di Fisica, Università di Torino, A.A. 2020-21, richiedibile attraverso il *corresponding author*.

Ringraziamenti

Si ringraziano ExtendaVitis per aver reso pubblici i dati sperimentali delle due campagne di osservazione in Veneto promosse dai dott. Paolo Belvini e Carlo Favero, e AgroAmbiente per lo stesso motivo in relazione ai dati toscani.

DATI AGROMETEOROLOGICI NON CONVENZIONALI PER LA VALUTAZIONE DEL FABBISOGNO IDRICO DEL POMODORO TRAMITE IL MODELLO AQUACROP IN ITALIA CENTRALE

UNCONVENTIONAL AGRICULTURAL METEOROLOGICAL DATASET IN ASSESMENT OF CROP WATER REQUIREMENTS OF TOMATO THROUGH THE APPLICATION OF THE AQUACROP MODEL IN CENTRAL ITALY

Filiberto Altobelli¹ Andrea Martelli^{*1}, Andrea Cecilia², Maria Rivoli³, Sara Marinari⁴, Anna Dalla Marta³

¹ CREA– Research Centre for Agricultural Policies and Bioeconomy, Via Barberini, 36 - 00187 Roma, Roma (RM)

² University of Rome Tor Vergata, ISAC-CNR Associate

³ DAGRI – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università di Firenze, Piazzale delle Cascine 18 - 50144, Firenze

⁴ DIBAF- Department for Innovation in Biological, Agro-food and Forest systems, University of Tuscia S. Camillo de Lellis snc, 01100, Viterbo, Italy

*andrea.martelli@crea.gov.it

Abstract

The availability of weather time series, included temperature and precipitation, is pivotal 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. The present study explores the use of weather time series of Personal Weather Stations (PWS) for crop modelling applications in urban and peri urban agriculture. In particular, we investigated the potential benefits of using weather time series shared through the portal Weather Underground agrometeorological input for crop modelling applications in the area of Rome (Italy). In addition, the effect of using site-specific soil datasets on the water productivity of processing tomatoes was studied through crop modelling. The results show that accurately networked agrometeorological datasets can be used to provide data needed by agronomic models such as AquaCrop for estimating crop yield and water productivity. Moreover, increasing the accuracy of site-specific soil data is a major factor in improving the model's response. Further, the analysis demonstrated that the model had a good response in the simulation of the impact of irrigation management in terms of yield and water use efficiency for tomato cultivation in an urban context.

Parole chiave

Modelli culturali, serie storiche, agricoltura urbana, cambiamento climatico, irrigazione, stazioni meteo private, suolo

Keywords

Crop modelling, time series, climate change, citizen weather station, urban agriculture, irrigation, personal weather stations, soil

Introduction

Climate change in the coming years will undoubtedly have decisive effects on urban and peri-urban agriculture. The distribution and intensity of rainfall, as well as the increase in temperatures are now well established. This will have detrimental impacts on crop yields and expected profitability. The availability of weather information provides insights into the variability of yield patterns to better address the climate risks. In addition, weather stations can be not only a strong tool for retrieving, monitoring, and managing weather conditions for urban and peri-urban agriculture, but also for providing reliable data for agronomic modeling applications. Simulation models use a variety of plant and environmental parameters to simulate crop growth and should be calibrated and evaluated prior to use. One of the most used plant growth simulation models is AquaCrop developed by FAO experts. The purpose of developing this model was to balance accuracy, simplicity, and ease of use for different users (Hsiao et al., 2009). The Rome metropolitan area is one of

the most important urban and peri-urban agricultural areas in Italy. The cultivated crops are wheat, corn, alfalfa but also tomato and potato. Accurate meteorological data and agronomic modeling to study crop responses to the environment can greatly contribute to planning and optimization of agricultural activities in this area. Nowadays, yield estimation is considered one of the key information in precision agriculture both at regional and national scale (Ramezani Etedali and Ahmadi, 2021). An important input of crop models is represented by agrometeorological data. Often, the low density of weather stations is a strong limitation for the use of crop models, such as AquaCrop. Integrating data from multiple weather stations can help compensate for this weakness. However, for proper use of data from unconventional weather stations, the analysis of data quality and robustness is required. The main aim of this study is to investigate the possibility to use meteorological time series from Personal Wheatear Stations (PWS) for crop modelling applications and to evaluate the model performances against the

simulations obtained by using the official weather databases provided by the monitoring network of the Ufficio Idrografico del Lazio in different areas of Rome. In addition, the different water productivity of processing tomato results are evaluated through the use of site-specific pedological datasets.

Materials and Methods

Collection and analysis of precipitation data from amateur weather stations

The potential of locally available meteorological data to support urban agriculture practices was evaluated, with particular attention to rainfall. To this end, a qualitative analysis of agro-meteorological data available for the urban area of Rome (Italy) was conducted, starting from a previous experience (Altobelli et al. 2009) on the exploration of the use of time series from the Personal Weather Station Network (PWS) of Weather Underground present in the city of Rome for crop modeling applications. 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. The verification process for the robustness of climatic data and subsequently for the quality of the rainfall and weather data from Rome in the period April-October 2018, allowed us to integrate a strong climatic dataset for the agronomic model application. The map reported in Fig.1 shows the location of the PWS stations referenced for this study.

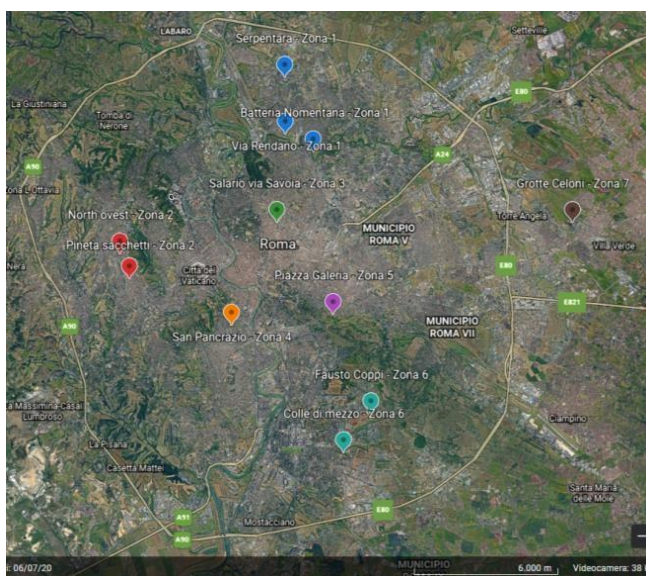


Fig.1 localizzazione delle stazioni meteorologiche

Fig.1 localization of the networks weather stations

AquaCrop application

Once the WPS climatic data have been verified and the robustness of the datasets to be used in the agronomic model has been ensured, the second experimental activity

started. In this phase, the final objective was to compare and evaluate the robustness of the data from the two types of weather stations, the Lazio Hydrographic Office network and the WPS, for modeling purposes. The AquaCrop model, a crop water productivity model developed by the Land and Water Division of the Food and Agriculture Organization (FAO), was applied for the comparison. The model simulates the productive response of crops to water availability and it is mainly used to analyze the impact of irrigation management in terms of yield and water use efficiency. In this study, networked meteorological datasets were evaluated for estimating the water productivity of processing tomato and were compared with Lazio Hydrographic Office network. For this purpose, the metropolitan area of Rome climatic information from 2013 to 2018 and the climatic information of the mentioned sets was extracted. Furthermore, for assessing the goodness of model validation and calibration R^2 , NRMSE, and MAPE statistical indicators were considered to compare simulated and observed inter-annual yield variability. In order to estimate the water productivity of processing tomato in relation to the different soil types included in the study area, soil samples have been collected for texture determination. In order to study the response of crops to different pedoclimatic zones, each weather station was associated with the corresponding pedological sheet. For this reason, pedological characterizations were made for each zone examined. This analysis was performed using different production scenarios of the AquaCrop model, that are explained in detail below. A descriptive schematization of the experimental design is reported in table 1.

Tab.1 Descrizione della sperimentazione

Tab.1 Description of the experiment

	Crop season	Crop data Database	Location	Meteoreological data	
				Type of stations	
Calibration	2020/2021	CREA-PB	Roma la Storta sperimentali fields	µMETOS	by Pessl
Validation	2013/2018	FADN*	Agro-peri urban area of Rome		Hydrographic Office
Scenario	2018/2019	FADN*	Agro-urban area of Rome	Hydrographic Office	PWS

* Farm Accountancy Data Network (FADN)

Calibration of the model

AquaCrop parameters were calibrated with field observations: transplanting dates and density, flowering date and duration, senescence, maturity attainment, and final yield. The trend of biophysical parameters during the production season was monitored with in situ measurements of canopy cover and green and dry biomass. Regarding irrigation, water volumes and interventions carried out in the growing season, as well as the adopted irrigation system, were used as model input. All data necessary to calibrate the model were collected in the experimental field “La Storta” located in Rome and managed by Crea PB and DAGRI-UNIFI.

Field trial for calibration

Processing tomato seedlings were transplanted on May 20 and harvested on August 10, 2021. On a total area of 115.2 m², 4 different irrigation treatments with drip irrigation (dripping hose: Aqua-Traxx by Toro) were tested: full irrigation (full), deficit irrigation (80%), regulated deficit irrigation (60-80-60%) and farmer level irrigation (farm). The trial was monitored by a Decision Supporting System (DSS) connected to field sensors for soil moisture and a weather station for irrigation advice.



Fig.2 Campo sperimentale di pomodoro da industria
Fig.2 Processing tomatoes experimental fields

Validation steps

For the validation of the model five annual crop datasets were used from the season 2013 to 2018. Regarding crop data, the Farm Accountancy Data Network (FADN) database was used which made the data available for the urban and peri urban areas of Rome. The model was validated for soil water content, CC, final biomass, yield and water productivity. All the parameters, analyzed along the growing seasons, both simulated and measured, were compared and the differences were statistically analyzed by means of R², NRMSE, and MAPE.

AquaCrop input requirements

Soil Data

Accurate analysis of soil characteristics and profile were carried out for the experimental fields. Sampling activity was conducted at two different depths (0-15 and 15-30 cm).

Crop data

The crop data required by AquaCrop include plant density (number of plants per unit area), time to emergence, crop phenology, biomass, yield, canopy cover, harvest index and effective rooting depth.

Climate variables data

Meteorological data were obtained for the calibration steps by an automatic weather station (μ METOS NB-IoT is a LPWAN weather station by Pessl) installed on the field, instead for the validation phase two meteorological stations were studied, one belonging to the hydrographic network and the second to the PWS network. It comprised of daily

average, maximum and minimum temperatures ($^{\circ}$ C), mean relative humidity (%), minimum and maximum relative humidity (%), solar radiation (MJ m⁻²), wind speed (m s⁻¹), rainfall (mm), and daily reference evapotranspiration (ET_o, mm day⁻¹) calculated using the FAO Penman-Monteith Approach (Allen et al., 1998).

Simulation outputs

Once the model was calibrated and validated, it was possible to proceed with comparing and evaluating the applicability of meteorological data from the two types of station networks for the 2018. AquaCrop was run separately for each meteorological database but maintaining the same files and crop databases. The study was carried out on the 7 areas identified within the Rome metropolitan area. For each area two meteorological stations were selected, one for each type, considered representative of that area. In the seven selected areas is studied water productivity in relation to the different soil types considered and the ecosystem service of soil related to agricultural production in the study area. This contribution was performed through the use of different production scenarios of the AquaCrop model, associating to each weather station a corresponding pedological sheet. In order to achieve the objectives of this phase, it was necessary to perform and characterize soil samples for each selected weather station as explained above

Tab.2 Descrizione degli scenari

Tab.2 Description of the scenarios

Scenario	Area	Meteorological station							
		Hydrographic Office				PWSs			
n.	n.	Id	Long	Lat	High_m	Id	Long	Lat	High_m
S1	A1	Castel giubileo	12,50	41,99	18	Nomentana	41,96	12,53	52
S2	A2	Monte Mario	12,44	41,94	124	North ovest	41,91	12,42	72
S3	A3	Collegio romano	12,48	41,90	49	Quartiere salario	41,91	12,5	53
S4	A4	Macao	12,51	41,90	84	San Pancrazio	41,88	12,46	83
S5	A5	Eur	12,48	41,84	33	Piazza Galeria	41,87	12,51	49
S6	A6	Eur	12,48	41,84	33	Fausto Coppi	41,83	12,51	48
S7	A7	Tor Vergata	12,63	41,85	80	Grotte Celoni	41,87	12,64	73

Results and discussion

Climatic variable

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. 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. Figure 3 shows the percentage deviation N of PWSs total rainfall in the study period from the reference network, calculated as $N = 100 \frac{p - p_r}{p_r}$, 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. For total rainfall in the study period, we observe a general light overestimation (meanly of 20.7%) with maximum percentage change of 54%, with respect to the reference data, in the south-west districts of Rome (Fig. 3). The statistical analysis shows that data are compatible with the reference data both as regards the means and the medians. Based on the statistical analysis and the interpolated maps, it is shown 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.

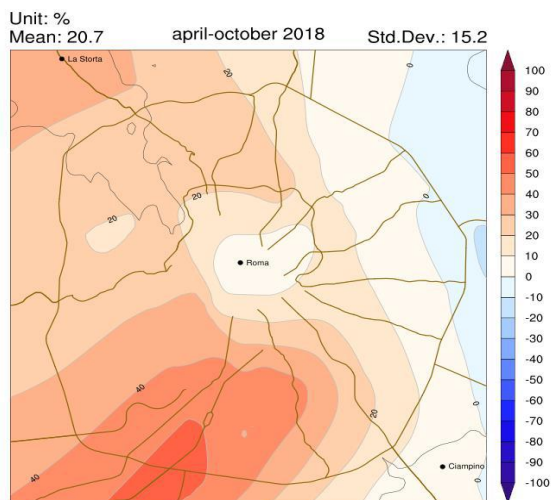


Fig.3 Deviazione percentuale di precipitazioni totali rispetto alla rete di riferimento.

Fig.3 Total rainfall percentage deviation with respect to the reference network.

Calibration and validation of AquaCrop

The AquaCrop model was calibrated for tomato based on the available yield information over the period 2020-2021 and validated over the period 2013-2018. The results in AquaCrop for tomato yields are shown in Table 3. The statistics showed NRMSE average values around 16%, indicating a good calibration and validation of the AquaCrop model.

Tab.3 Risultati della calibrazione e validazione di AquaCrop per la resa del pomodoro

Tab.3 Calibration and validation AquaCrop results for tomato yields

	NRMSE	RMSE	MAPE
Calibration	%	t/ha	%
2021	9,20	0,35	3,37
Validation	-	-	-
2013	20,00	1,77	12,67
2014	13,30	0,61	8,35
2015	17,90	1,27	36,58
2016	15,40	0,23	5,13
2017	15,70	0,24	5,22
2018	17,20	0,31	6,19
Avg	16,58		

Tomato Yields and crop water productivity

Tab.4 Risultati del confronto tra le stazioni meteorologiche degli scenari 2018

Tab.4 2018 scenario weather station comparison results

Scenario	Meteorological station	Soil Type	Biomass	Dry Yield	WP	Irr
	Hydrographic Office		ton/ha	ton/ha	kg/m3	mm
S1	Castel giubileo	Loam	9,62	4,81	1,18	301,6
S2	Monte Mario	Sandy loam	9,62	4,81	1,24	312,7
S3	Collegio romano	Loam	9,62	4,81	1,09	342,4
S4	Macao	Loam	9,62	4,81	1,16	299
S5	Eur	Clay loam	9,62	4,81	1,17	330,7
S6	Eur	Clay loam	9,62	4,81	1,17	330,7
S7	Tor Vergata	Sandy loam	9,62	4,81	1,02	394,2
PWSs						
S1	Nomentana	Loam	9,62	4,81	1,29	249,4
S2	North ovest	Sandy loam	9,62	4,81	1,26	310,5
S3	Quartiere salario	Loam	9,62	4,81	1,15	292,5
S4	San Pancrazio	Loam	9,62	4,81	1,39	251,8
S5	Piazza Galeria	Clay loam	9,62	4,81	1,37	265,3
S6	Fausto Coppi	Clay loam	9,62	4,81	1,27	273,3
S7	Grotte Celoni	Sandy loam	9,62	4,81	1,17	352,7

From the analysis of the results has emerged that although there are small differences between the meteorological data obtained from the two types of stations, the model has estimated well the production of biomass and fruits of tomato. No clear differences in estimated biomass (9,62 ton/ha) and tomato fruit production (4,81 ton/ha) results were found across all scenarios analyzed. This highlights good reliability of the meteorological datasets from both the hydrographic and PWSs, but also showed that the sensitivity of the model did not detected climate variability with drip irrigation method at 30 % depletion levels of ready water available (RAW). The amount of irrigation application simulated in each scenario varied between

249,4 mm and 394,2 and the percentage difference in estimated water quantity between the two weather stations for each area was always less than 19 %. This difference consequently reveals several values of tomato water productivity in response to different irrigation interventions estimated. The results of the scenarios are summarized in the Table 4.

Simulation Results for Different soil type

The second phase of the experimentation focused on the estimation of water productivity in relation to the different soil types considered. This analysis was carried out on scenarios 6 and 7 having soil types more diversified than the other scenarios.

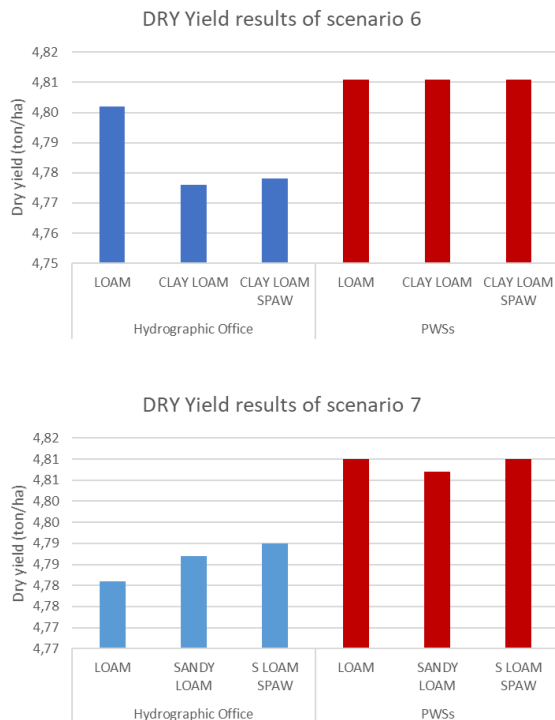


Fig.4 Confronto risultati degli scenari 6-7 sull'effetto della diversa tipologia di suolo sulla stima della produzione del pomodoro

Fig.4 Comparison of scenario 6-7 results on the effect of different soil types on estimated tomato yields

The soils of the selected areas have chemical-physical properties defined in a textural range from loam to sandy loam and a pH range from 6.1 to 7.5 with an average organic matter content of around 2%. For this reason, three soil types per weather station were compared for scenario 6: loam, AquaCrop default clay loam, and clay loam calculated using Soil-Plant-Atmosphere-Water (SPAW) a daily hydrologic budget model for agricultural fields; for scenario 7 loam, AquaCrop default sandy loam and sandy loam calculated using the SPAW model were used. In this test, irrigation estimation was set with the drip irrigation method at 70 % available ready water depletion (RAW) levels to allow the model to record pedoclimatic variation while exceeding the sensitivity limits found. The soil variable had a more significant impact on the tomato

production estimate with the meteorological data from the hydrographic office (Fig.4).

Less sensitivity and greater estimation stability was reported for PSWs. Regarding the production estimates of scenario 6 with the hydrographic office weather data, the clayey soil shows a slight decrease in tomato production compared to a loamy soil. On the contrary, for scenario 7, again from the hydrographic office data, sandy soil shows an increase in production compared to loamy soil. Another fact that emerges from the analysis of the results is that there are no significant differences between the use of AquaCrop default soils compared to the soil sheet elaborated with the SPAW model.

Conclusions

Based on the statistical analysis it can be concluded that the amateur and open-source rainfall data from Wunderground can be considered a valid support for agrometeorological studies and for crop model applications. The results of this work confirm the possibility of using unconventional agricultural meteorological dataset for the evaluation of the water requirements of tomato through the application of AquaCrop model in central Italy. It has emerged that although there are small differences between the meteorological data obtained from the two types of weather stations, the model has estimated well the production of biomass and yield of tomato. Furthermore, in order to study the response of crops to different pedoclimatic zones, each weather station was associated with the corresponding pedological sheet and it was shown that clay loam soil negatively affects the estimated tomato production compared to loam soil and sandy loam soil which recorded slightly higher estimated production values. Less sensitivity to pedoclimatic variability and greater estimation stability have been reported for PSWs weather data. In conclusion, this study has confirmed the relevance of using agroclimatic models to estimate crop water requirements through the use of unconventional agro-meteorological data and soil data for developing crop production scenarios and assessing adaptation and mitigation strategies to better address climate change risks.

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. *Usa 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.
- Hsiao, T.C., Heng, L.K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model

to simulate yield response to water III. Parameterization and testing for maize. *Agron. J.* 101, 448–459.

Ramezani Etedali H., Ahmadi M., 2021. Evaluation of various meteorological datasets in estimation yield and actual evapotranspiration of wheat and maize (case study: Qazvin plain). *Agricultural Water Management* 256 (2021) 107080

<http://www.wunderground.com>

<http://oco-carbon.com/wunderground-weatherdata-downloader>

SELEZIONE DI SITI PER MANDORLETO UTILIZZANDO LA DELINEAZIONE DELLE ZONE MICROCLIMATICHE AD ALTA RISOLUZIONE SPAZIO-TEMPORALE

ALMOND SITE SELECTION USING HIGH RESOLUTION SPATIAL-TEMPORAL MICROCLIMATIC ZONE DELINEATION

Damian Maddalena¹, John L'Heureux², Nicholas Kenny³, Gabriele Onorato^{3*}

¹ University of Toronto Mississauga, Dept of Geography, Geomatics, and Environment

² Tomorrow.io

³ International Farming Corporation

*gonorato@intlfarming.com

Abstract

During the winter of 2017-2018 a high-resolution temperature study was conducted on a 5,600-ha farm located in Arizona, near the McMullen Valley, USA. This study collected high-resolution weather information to understand frost risk and chill portion accumulation on the farm, two important environmental factors that contribute to the risks associated with almond production. A sensor network, consisting of 206 HOBO weather sensors was installed in a 15-ha grid spacing across the farm and was used to delineate precision management zones based on temperature variability. These zones suggest that there are no areas on the farm that are free of risk from frost during critical periods of almond production. Areas in the northwest section of the farm appear to be manageable with mitigation tactics such as wind machines, but those warmer areas could potentially suffer from lack of chill portion accumulation and therefore fail to reach economically sustainable yield.

Parole chiave:

rischio gelate, ore di freddo, mandorle, zone di gestione, agricoltura di precisione

Keywords:

k-means, frost risk, chill portions, chill hours, almonds, management zones, precision agriculture

Introduction

A high-resolution study was undertaken to map precision management zones based on the climate dynamics on an arid but fully irrigated farm but in Salome, Arizona, USA. This effort endeavored a.) to delineate frost risk management zones for targeted mitigation efforts, and to map chill accumulation on the farm. Understanding these variables can guide future decisions around almonds and other tree crops on the farm. In almonds, fruit damage is possible after a minimum 30-minute exposure of -3.9 , -2.8 , and -2.2 degrees C for trees in the pink bud, full bloom and small nut stages, respectively (Doll). For almonds, the chilling unit requirement ranges between 450 to 600 units, or 20 to 30 chill portions by the Dynamic Model (Peralta et al, Pope).

Delineation of management zones using environmental data such as climate, soil fertility, and vegetative indices derived from remote sensing information is a common method used in precision agriculture (Peralta). These management zones allow farmers to target specific treatments to the area most in need, saving time, money, and resources, and improving overall crop performance and returns. This study uses high-resolution weather data to delineate management zones for frost mitigation and mapping chill accumulation.

Materials

The farm is situated within Arizona, near the McMullen Valley, USA. It is surrounded on three sides by mountains (west, south, and north) that are 150-300 meters above the valley floor. The valley slopes gently to the west; cold air drainage from the nearby mountains sinks towards the

centennial wash in the southern end of the farm, where temperatures may be up to -10 degrees C lower on clear, calm nights than the northern end of the farm. The temperature differences caused by the topography on the farm present a complicated management scenario. Low temperatures during the critical bloom period in tree crops is a major management concern. Further, the topography can create microclimatic gradients that lead to uneven chill portion accumulation.

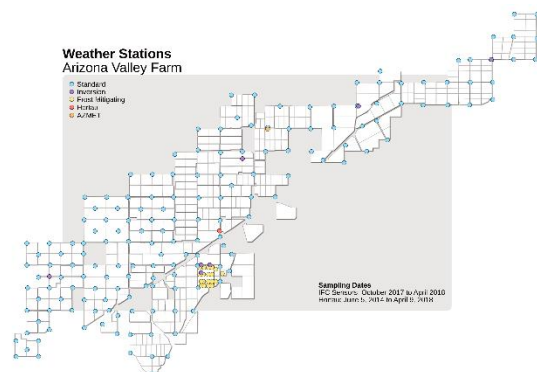


Fig. 1 Study site layout.

Fig. 1 Layout del sito di studio

A high-resolution temperature sensor network consisting of 206 HOBO weather sensors was installed with a 15-hectare grid spacing across the farm, with a subset of sensors inside current almond ground. Of these sensors, 186 were mounted 1.5 meters above ground. Additionally, five inversion towers were set up with 6 sensors each, mounted at 1.5-meter

increments up a 10-meter pole. These inversion towers measure the layers of air above the farm and are designed to help understand the morphology of the cold air pooling that occurs on clear, calm nights, as well as to assess the effectiveness of frost mitigation tactics. All HOBO sensors recorded data at 5-minute increments to capture the details of air flow patterns and as affected by changes from frost mitigation tactics employed during the critical bud period.

Results

Significant freeze risk was observed during the study period. Dangerous temperatures (<-4.5 C) were observed on several nights during January – March 2018, indicating a high level of risk (loss) for almond production at the farm. Frost mitigating tactics in the current almond ground yielded a 1-3 degrees C temperature increase at the surface. The northern end of the farm experienced up to 40% fewer below freezing hours, where the sites in question would not occupy an elevation depression zone. Lower frost risk at the northern portion of the farm but larger temperature variability may induce additional plant stress or suffer from insufficient chill portion accumulation. The inversion towers recorded a 1.5-3 degrees C temperature increase in nightly temperatures from ground level to the peak of the tower. This was most prevalent earlier in the night and just after sunrise. The temperature variation diminishes later in the night as the cold pool deepens. Precision management zones were delineated from the individual hourly interpolated surfaces using k-means clustering. Hourly interpolated surfaces were used to derive five surfaces for three time periods for each of the 8 months of the study period. The five surfaces were: minimum, maximum, mean, standard deviation, and range. The three time periods for each month were: the entire month, the long night (measurements taken between 10 PM and 8 AM), and the short night (measurements taken between the hours of 3 AM and 7 AM). This data set was then assembled in GRASS-GIS and read into R for k-means cluster analysis. Clusters for k values of 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, and 30 were generated

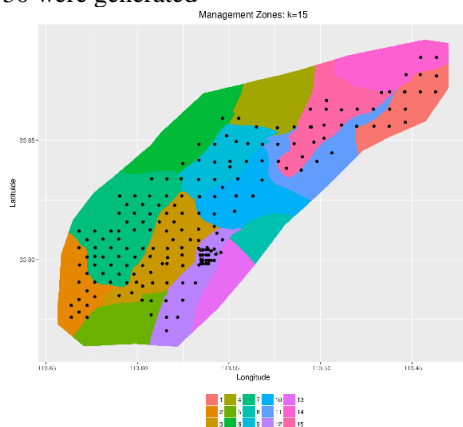


Fig. 2. Management zones, $k=15$

Fig. 2. Zone di gestione, $k=15$

Across all cluster maps, warmer northern areas appear to have marginally manageable minimum and mean

temperatures during the critical bloom period. Chilling portions were calculated using the hourly thin plate spline surfaces. The central area of the farm, down through the Centennial Wash accumulated adequate chill portions during the winter of 2017-2018. Elsewhere on the farm, where freeze risk is not as great, chill portion accumulation was inadequate over the past winter.

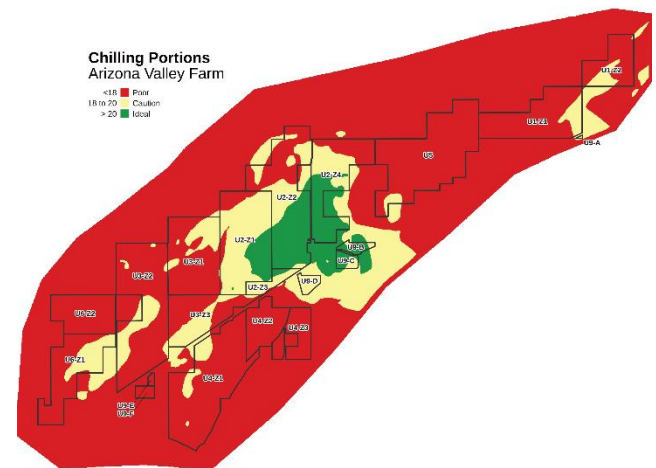


Fig. 3. Chill portions surface.

Fig. 3. Superficie delle porzioni fredde

Conclusions

Areas in the northwest section of the farm seem to be manageable with mitigation tactics such as wind machines during mild winters but those areas, being warmer, could potentially suffer from lack of chill portion accumulation, and therefore suffer from yields below those needed to reach underwriting goals. Chilling portion accumulation appears to be an issue on the farm. Most of the farm did not accumulate chill portions sufficient for almond production during the 2017-2018 winter months. In warmer years, it is possible that no area will see adequate chill accumulation. In colder years, chill accumulation may meet almond production needs, but in those years damage from frost will be a threat. Based on this field study, 6 hectares of almonds were planted in 2018 in one of the most suitable areas identified by the analysis of the weather data, and the almond yield in 2021 suggests that frost mitigation techniques were sufficient to manage frost events and that chill accumulation was sufficient for robust economical almond production. Data from additional years is needed to substantiate this.

Bibliography

- Doll D., 2017. Freezing Temperatures: Almond Frost Sensitivity. (accessed July 5, 2018)
- Peralta N.R., Costa J.L., Balzarini M., Castro Franco M., Córdoba M., Bullock D., 2015. Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. Computers and Electronics in Agriculture, 110:103–113.
- Pope K., 2015 Counting Chill Better – Using the Chill Portions Model (accessed July 5, 2018).

LEMNA MINOR E DIGESTATO: OPPORTUNITÀ DI ECONOMIA CIRCOLARE

LEMNA MINOR AND DIGESTATE: OPPORTUNITIES FOR A CIRCULAR ECONOMY

Leonardo Verdi^{1*}, Emanuele Fratarcangeli¹, Simone Orlandini¹, Anna Dalla Marta¹, Anna Lenzi¹, Ada Baldi¹

¹ Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI) – University of Florence

* leonardo.verdi@unifi.it

Abstract

Environmental impacts due to global human population growth require a transition towards circular economy models for a more efficient use of resources. Weeds management is a serious issue resulting in environmental impacts due to the use of herbicides. In this study, the cultivation of lemna on digestate was assessed to produce innovative organic fertilizer and biomass for renewable energy production, biogas. Lemna was grown on water (D0, as control) and a solution of water and digestate (D50, 50 mg/L of N) in spring and autumn to assess the best cultivation model. Results shown the highest yields of fresh weight, dry weight and nutrients accumulation (N, P, K) from D50 in spring. D50 highlighted approximately 5% and 4% of N and K, respectively, confirming the role of lemna as organic fertilizer. From the assessment of potential biogas production, results shown that lemna could be an interesting low-input biomass to produce renewable energy.

Parole chiave

Fertilizzanti organici; azoto; fosforo; potassio; biogas.

Keywords

Organic fertilizers; nitrogen; phosphorus; potassium; biogas.

Introduzione

La lenticchia d'acqua (*Lemna minor* L.) appartiene alla famiglia delle lemnaceae, di cui fanno parte circa 40 specie diffuse in tutto il mondo. Si tratta di angiosperme monocotiledoni galleggianti caratterizzate da un rapido tasso di crescita che gli permette di arrivare a raddoppiare la propria biomassa nell'arco di 16-48 ore (Sree et al., 2016). Data la loro natura di specie galleggianti, proliferano in stagni, laghi e fossi posti ai margini dei terreni agricoli. Hanno inoltre un'elevata capacità di asportazione di nutrienti dai substrati di crescita, ragione per cui vengono impiegate per la fitodepurazione delle acque reflue. La gestione della Lemna nei sistemi di coltivazione in floating risulta particolarmente complesso dato che prolifera nel substrato di crescita (soluzione nutritiva) delle colture coltivate. Questo determina una riduzione dell'efficienza d'uso dei concimi con conseguenti perdite economiche e di produzione. L'utilizzo di erbicidi è fortemente sconsigliato dato il rischio di danneggiamento delle colture da reddito, oltre al rischio di inquinamento ambientale. Per questo motivo, attualmente l'unico mezzo di limitazione della Lemna è costituito dalla sua rimozione fisica con notevoli costi economici e di tempo. Attualmente la Lemna asportata rappresenta un sottoprodotto dell'attività agricola che viene gestito e smaltito come un rifiuto. Tuttavia, grazie ad alcune delle sue caratteristiche intrinseche, la Lemna offre differenti soluzioni per la sua valorizzazione in chiave di economia circolare a livello di azienda. Come riportato da Kreider et al. (2019) il contenuto di azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) della Lemna è simile a quello di diversi fertilizzanti organici (es. letame), rappresentando un'interessante alternativa per la sostituzione dei fertilizzanti di sintesi. Inoltre, il processo di mineralizzazione della Lemna nel suolo si attesta attorno ai 30 giorni (Chikuvire et al., 2019) consentendo la sua

distribuzione nel suolo in prossimità della semina delle colture principali. Questo la distingue fundamentalmente dai concimi organici comuni, come il letame, che hanno tempi di mineralizzazione maggiori richiedendo una distribuzione in campo fortemente anticipata. Il biogas rappresenta una delle strategie di produzione di energia rinnovabile più diffuse e che permette di conciliare la produzione di energia con l'attività agricola. Tuttavia, il principale prodotto di scarto, il digestato, spesso rappresenta una problematica per le aziende che si trovano a dover gestire grossi volumi di prodotto. Normalmente, il digestato subisce un processo di separazione della frazione solida, impiegata come ammendante, da quella liquida, utilizzata come fertilizzante. A causa del basso contenuto di N della frazione liquida (3-8 %), sono spesso necessari numerosi passaggi in campo per la sua distribuzione, che richiede particolari accorgimenti, soprattutto nelle zone vulnerabili ai nitrati (ZVN). Lo scopo di questo lavoro è stato quello di valutare la coltivazione della Lemna su substrato arricchito con digestato e ipotizzarne l'utilizzo come concime organico o come biomassa per la produzione di biogas in un'ottica di economia circolare a livello aziendale.

Materiali e Metodi

La prova è stata svolta presso l'azienda agricola Cammelli Di Cammelli Luciano e C. S.S. (Firenze) specializzata nella coltivazione di specie ortive in pieno campo e in sistemi *floating*. La Lemna è stata raccolta dalle vasche di coltivazione del basilico (Fig. 1) all'interno di una delle serre dell'azienda.



Figura 1. Infestazione di Lemna su coltivazione di basilico
Figure 1. Lemna infestation on basil cultivation



Figura 2. Prove di coltivazione in vasche
Figure 2. Tests of cultivation in tanks

Il digestato è stato raccolto presso l'azienda RIVALTA ENERGIA SRL (Mantova) in due periodi distinti (primavera ed autunno). Il digestato è stato ottenuto dalla fermentazione anaerobica di liquami bovini e biomasse vegetali differenti in base al periodo dell'anno (primavera: 70% triticale e 30% insilato di mais – autunno: 70% scarti ortofrutticoli e 30% scarti della lavorazione del frumento) (Tab. 1).

Tabella 1. Composizione digestato in base ai periodi di raccolta (primavera ed autunno)

Table 1. Digestate composition based on harvesting periods (spring and autumn)

Parametri	Unità di misura	Periodo	
		Primavera	Autunno
Sostanza secca	g/100mL	4,82	0,72
N totale	g/100mL	0,52	0,12
N nitrico	g/100mL	< 0,01	< 0,01
N ammoniacale	g/100mL	0,32	0,10
P solubile	mg/L	176	37
K solubile	mg/L	2268	1521

Le prove di coltivazione della Lemna sono state svolte in contenitori di plastica (38 x 51 x 30 cm; volume 35 L) riempiti con soluzioni a differenti concentrazioni di digestato (Fig. 2). I livelli di diluizione del digestato sono stati valutati in base alla letteratura disponibile (Sonta et al., 2020) e tramite test preliminari (*dati non riportati*) per definire la concentrazione di digestato capace di assicurare la massima crescita della Lemna. Dai risultati preliminari è stato definito come miglior livello di concentrazione del digestato 50 mg/L (D50), soglia al di sopra della quale l'N può risultare tossico compromettendo la crescita fino ad arrestarla completamente. I test di coltivazione sono stati svolti confrontando la crescita della Lemna in due periodi dell'anno (primavera ed autunno) e utilizzando un substrato costituito da acqua (D0), come controllo.

Le prove sono state avviate utilizzando 80 g di Lemna per contenitore (Hasan & Chakrabarti, 2009) con una durata di quattro settimane ciascuna (14/04/2021 - 13/05/2021; 07/10/2021 - 04/11/2021). Le soluzioni sono state agitate quotidianamente per assicurare un buon livello di ossigenazione delle soluzioni e prevenire la formazione di alghe. L'andamento della temperatura dell'aria è stato monitorato giornalmente durante tutta la durata delle prove. Settimanalmente, il volume evaporato è stato reintegrato con le rispettive soluzioni e sono state monitorate le condizioni generali (pH, CEC, T° ecc.). Negli stessi momenti è stata svolta la raccolta della Lemna per la determinazione del peso fresco e del peso secco sui 7 giorni. Una quota di 50 g di Lemna è stata accantonata e utilizzata per l'avviamento del nuovo ciclo di crescita settimanale. Al termine delle prove, è stato analizzato il contenuto di N, P e K dei campioni raccolti per la determinazione delle asportazioni.

Sulla base della caratterizzazione elementare della Lemna prodotta è stato ipotizzato un suo utilizzo come concime organico e come coltura da biomassa per la produzione di biogas. La valutazione di utilizzo della Lemna come concime organico è stata svolta considerando il contenuto di N, P, K e del rapporto C/N. Il calcolo della produzione potenziale di biogas, e metano (CH₄), è stato svolto utilizzando la formula di Buswel (Buswel & Symons, 1933) tenendo conto del contenuto di C, N, idrogeno (H), ossigeno (O) e dell'umidità del campione, considerando trascurabile il contenuto di zolfo (S).

Risultati e Discussione

La produzione di Lemna è stata influenzata principalmente dalla stagione di coltivazione, per effetto dell'andamento delle T° e del fotoperiodo, con rese significativamente superiori (P<0.05) durante la prova primaverile. Il trattamento D50 ha fornito rese significativamente superiori rispetto al D0 in primavera sia in termini di produzione di sostanza fresca che di sostanza secca. Diversamente, durante il periodo autunnale non si sono apprezzate differenze di produzione di sostanza fresca e secca fra i trattamenti (Tab. 2).

Tabella 2. Produzione di sostanza fresca (PF) e sostanza secca (PS) coltivata in acqua (D0) e in soluzione con digestato (D50) in primavera (Pr) e autunno (Au)

Table 2. Production of fresh matter (PF) and dry matter (PS) grown in water (D0) and in solution with digestate (D50) in spring (Pr) and autumn (Au)

	PF Totale (g/m ²)	PS totale (g/m ²)
PrD0	2069.32 ±93.51b	147.14 ±6.32b
PrD50	2842.51 ±142.00a	160.17 ±5.69a
AuD0	1357.21 ±227.89c	75.13 ±10.10c
AuD50	1244.34 ±103.42c	76.37 ±7.53c

Valori medi ± D.S. (n = 4). Lettere diverse sulla stessa colonna indicano differenze statisticamente significative per P≤0,05 (Test LSD)

La maggior disponibilità di nutrienti all'interno della soluzione con digestato ha evidentemente favorito l'accumulo di N da parte della Lemna che ha mostrato asportazioni superiori rispetto a D0 in entrambe le stagioni. Nonostante l'andamento stagionale favorevole, la prova primaverile ha mostrato un livello di asportazione di N simile a quello raggiunto dalla prova autunnale. La disponibilità di nutrienti legata alla presenza del digestato ha influenzato sia l'asportazione di P che di K in entrambe le stagioni, confermando nuovamente una maggiore attività della Lemna nel periodo primaverile (Tab. 3).

Tabella 3. Asportazioni di azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) della Lemna coltivata in acqua (D0) e in soluzione con digestato (D50) in primavera (Pr) e autunno (Au)

Table 3. Removal of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) from Lemna grown in water (D0) and in solution with digestate (D50) in spring (Pr) and autumn (Au)

	N		P		K	
	%	g/m ²	%	g/m ²	%	g/m ²
PrD0	1.80 ±0.10c	2.63 ±0.16c	0.55 ±0.15a	0.81 ±0.21 b	2.52 ±0.29 b	3.67 ±0.25 b
PrD50	5.33 ±0.35a	8.60 ±0.76a	0.70 ±0.08a	1.13 ±0.18a	3.94 ±0.13a	6.35 ±0.19a
AuD0	3.05 ±0.38 b	2.29 ±0.39c	0.22 ±0.08 b	0.17 ±0.07 d	1.89 ±0.09 b	1.42 ±0.18 d
AuD50	5.55 ±0.70a	4.22 ±0.52 b	0.53 ±0.11a	0.40 ±0.09c	2.51 ±0.11c	1.91 ±0.11c

Valori medi ± D.S. (n = 4). Lettere diverse sulla stessa colonna indicano differenze statisticamente significative per P≤0,05 (Test LSD)

La disponibilità dei nutrienti e l'andamento stagionale favorevole (primavera) hanno determinato livelli di asportazioni di nutrienti elevati, in particolar modo N e K, da parte della Lemna tali da giustificarne una valorizzazione come concime organico (Kreider et al., 2019). Le asportazioni di P sono invece risultate limitate anche nel trattamento D50 attestandosi su valori inferiori all'1% (Vladimorova & Georgiyant, 2013; Chikuvire et al., 2019).

Per svolgere una valutazione completa del potenziale fertilizzante della Lemna, è stato anche valutato il contenuto di C (valore medio 35.44 ±1.58) per la determinazione del rapporto C/N. I risultati hanno mostrato valori di C/N sempre inferiori a 20 in tutti i trattamenti confermando il valore della Lemna come concime organico. Risultati simili sono stati osservati da un recente lavoro sulla bietola (Chikuvire et al., 2019) in cui viene identificato un periodo di 28 giorni per la completa mineralizzazione della lemna. I risultati di questo lavoro riportano rese confrontabili tra concimazioni con lemna e urea. Grazie alla rapida mineralizzazione, si potrebbe ipotizzare una distribuzione all'impianto per colture con cicli più lunghi rispetto alla bietola, o le specie ortive in generale, come i cereali. Questo consentirebbe di evitare concimazioni organiche troppo anticipate rispetto alla semina, che normalmente avvengono in periodi poco favorevoli come ad esempio quello estivo, quando le alte temperature determinano perdite rilevanti per ossidazione della sostanza organica.

Inoltre, il rapido tasso di crescita della lemna potrebbe rappresentare un'efficiente strategia di stoccaggio del C atmosferico. La sua utilizzazione come concime organico potrebbe contribuire all'aumento del pool di C del suolo rispondendo ad una delle principali richieste della strategia Farm to Fork (Commissione Europea, 2020). Secondo tale strategia le pratiche agricole che sequestrano la CO₂ atmosferica all'interno della biomassa vegetale e del suolo dovrebbero essere ricompensate attraverso la politica agricola comune (PAC) o altre iniziative pubbliche o private, con incentivi commisurati alla quantità di C sequestrato. Nel Farm To Fork è prevista, inoltre, la riduzione dell'uso di fertilizzanti minerali di almeno il 20% entro il 2030. La valorizzazione della lemna come fertilizzante organico potrebbe contribuire al raggiungimento di tale, ambizioso, obiettivo.

Tabella 4. Resa potenziale in CH₄ della Lemna coltivata in acqua (D0) e in soluzione con digestato (D50) in primavera (Pr) e autunno (Au)

Table 4. Potential yield in CH₄ of Lemna grown in water (D0) and in solution with digestate (D50) in spring (Pr) and autumn (Au)

	m ³ CH ₄ /t	m ³ CH ₄ /ha
PrD0	366.83 ±51.09a	7584.73 ±1153.61b
PrD50	406.81 ±15.68a	11697.73 ±962.77a
AuD0	407.43 ±38.26a	5499.26 ±867.04a
AuD50	393.65 ±54.84a	4912.43 ±913.12a

Valori medi ± D.S. (n = 4). Lettere diverse sulla stessa colonna indicano differenze statisticamente significative per P≤0,05 (Test LSD)

La valutazione del potenziale di produzione di biogas ha fornito risultati interessanti introducendo un utilizzo innovativo della lemna in chiave bioenergetica. Sebbene i valori di produzione potenziale di CH₄ (Tab. 4) della lemna risultino inferiori a quelli della biomassa di riferimento, il mais (~ 500 m³/t), la sua utilizzazione in chiave bioenergetica potrebbe fornire nuovi canali commerciali, oltre a contribuire al raggiungimento dell'autonomia energetica per le aziende agricole.

Esprimendo i risultati del calcolo del potenziale metanigeno in m³/ha le differenze produttive tra lemna ed insilato di mais si riducono notevolmente. In questo lavoro il trattamento che presenta il valore più alto è il D50 nel periodo primaverile, pari a circa 12000 m³/ha. Considerando una resa media di 40 t/ha di insilato di mais la resa potenziale di biogas si attese a 20000 m³/ha. Tuttavia, la coltivazione di un ettaro di mais da insilato in media richiede dai 3500 agli 8000 m³/ha di acqua per raggiungere rese elevate. I risultati di questo lavoro mostrano che la coltivazione della lemna nel periodo primaverile ha richiesto circa 45 L di soluzione per vasca, corrispondenti a circa 2300 m³/ha evidenziando un notevole risparmio idrico.

La creazione di organizzazioni consortili tra impianti di produzione di biogas ed aziende con sistemi idroponici con infestazioni di lemna potrebbe rappresentare un modello di economia circolare in cui la lemna non costituisce un rifiuto da smaltire, ma una risorsa per le aziende.

Conclusioni

La coltivazione della lemna su soluzioni di acqua e digestato risulta possibile anche se fortemente influenzata dall'andamento stagionale. La valutazione agronomica e bioenergetica della lemna ha evidenziato le potenzialità di questa pianta, il cui impiego nei due settori fornisce interessanti prospettive verso gli obiettivi fissati dall'Unione Europea nel Farm to Fork. La lemna, infatti, utilizzata per la concimazione organica, potrebbe contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici sia per la possibilità di assorbire rapidamente la CO₂ atmosferica e stoccare C nel suolo, sia attraverso una riduzione dell'uso dei concimi chimici. Per quanto riguarda la produzione di energia rinnovabile, la lemna consente di ottenere produzioni non molto inferiori a quelle del mais con minori consumi idrici.

Bibliografia

- Buswell A. M., Symons G. E., 1933. The methane fermentation of carbohydrates, *Journal of Am. Chem. Soc.*, 55, 2028-39.
- Chikuvire T. J., Muchaonyerwa P., Zengeni R., 2019. Improvement of nitrogen uptake and dry matter content of Swiss chard by pre-incubation of duckweeds in soil. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 235-244.
- Commissione Europe, 2020. Comunicazione della commissione al Parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni. Una strategia "Dal produttore al consumatore" per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente.
- Hasan M. R., Chakrabarti R., 2009. Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: a review. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*.
- Kreider A. N., Fernandez Pulido C. R., Bruns M. A., Brennan R. A., 2019. Duckweed as an agricultural amendment: nitrogen mineralization, leaching, and sorghum uptake. *Journal of environmental quality*, 48(2), 469-475.
- Sree K. S., Bog M., Appenroth K-J., 2016. Taxonomy of duckweeds (Lemnaceae), potential new crop plants.

- Emir. J. Food Agric. 28, 291–302. doi: 10.9755/ejfa.2016-01-038
- Sonta M., Łozicki A., Szymanska M., Sosulski T., Szara E., Was A., Gijs W. P. van Pruissen, Cornelissen R., 2020. Duckweed from a Biorefinery System: Nutrient Recovery Efficiency and Forage Value.
- Vladimirova I.N., Georgiyants V. A., 2014. Biologically active compounds from Lemna minor SF Gray. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 47(11), 599-601.

UN APPROCCIO DI MODELLIZZAZIONE IDROLOGICA BASATO SUL TELERILEVAMENTO PER STIMARE LE SERIE TEMPORALI DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE EFFETTIVA GIORNALIERA *A REMOTE SENSING BASED HYDROLOGICAL MODELLING APPROACH TO ESTIMATE TIME SERIES OF DAILY ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION*

Hassan Awada^{*1}, Simone Di Prima¹, Costantino Sirca^{1,2}, Filippo Giadrossich¹, Serena Marras^{1,2}, Donatella Spano^{1,2} and Mario Pirastru¹

¹ Department of Agricultural Sciences, University of Sassari, Viale Italia 39, 07100 Sassari, Italy;

² Euro-Mediterranean Centre on Climate Change (CMCC) Foundation, IAFES Division, Via de Nicola 9, 07100, Sassari, Italy.

* hawada@uniss.it

Abstract

Satellite remote sensing-based surface energy balance (SEB) techniques have emerged as useful tools for quantifying spatialized actual evapotranspiration (ET_a) at various temporal and spatial scales. However, the utility of satellite RS in agriculture water management is still limited by data acquisitions discontinuity and/or gaps in image acquisition due to cloud cover. In aims of constructing a continuous time series of daily actual crop evapotranspiration ($ET_{c\ act}$) of a vineyard in Sardinia, this research investigated the integration of temporal estimates of actual ET obtained by SEBAL model ($ET_{a\ eb}$) on Landsat-TM images with the FAO 56 evaporation model, RS-retrieved vegetative biomass dynamics and on-field measurements of soil moisture and potential ET. Compared to eddy covariance tower observed actual ET the integrated modeling approach showed a good reproduction of the time series of observed $ET_{c\ act}$ ($R^2=0.71$, $MAE=0.54\ mm\ d^{-1}$, $RMSE=0.73\ mm\ d^{-1}$). A sensitivity analysis showed that the applied $ET_{c\ act}$ modelling approach was also robust under scenarios of extremely limited Landsat image availability (up to 1 image for the entire season).

Parole chiave

SEBEL, Costruzione dell'evapotraspirazione, NDVI, Umidità del suolo.

Keywords

SEBAL, Evapotranspiration Construction, NDVI, Soil Moisture.

Introduction

Evapotranspiration (ET) is a major component of the hydrological cycle and one of the most important physical processes of the land-surface in arid and semi-arid environments. Quantifying the spatial and temporal dynamics of ET flows is of fundamental importance for agriculture water management and will greatly enhance our capability in assessing crop water requirement, irrigation scheduling and consequently, identifying water productivity, water use efficiency, optimizing allocation of water resources (Molden et al., 2010), and designing or validating strategies of adaptation to climatic changes (Masia et al., 2021). In this perspective, there has been a renewed incentive over the past decade towards finding reliable and non-expensive modelling techniques capable of quantifying ET. Such low-cost modelling techniques integrated with earth observations from satellite or aerial platforms are valuable for simulating ET flows on different temporal and spatial scales (from agriculture field to Basin scale) (D'Urso et al. 2001). Surface energy balance (SEB) based approaches can use data acquired in the Visible and ShortWave InfraRed (VSWIR) thermal infrared (TIR) regions for the estimation of the actual evapotranspiration as a residual of the SEB equation ($ET_{a\ eb}$), after quantifying the rest of the instantaneous fluxes (Wagle et al., 2017; Bhattarai et al., 2016). Single source SEB models like the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) model (Bastiaanssen et al., 1998a) treat a pixel as

a single transfer layer (Wagle et al., 2017) and have been applied and validated extensively in various parts of the world (Awada et al., 2021, Bastiaanssen et al., 1998b). Satellite-based SEB approaches are a great advance for providing $ET_{a\ eb}$ estimations for large geographical extents and at different spatial and temporal scales; however, the application of these approaches is still limited to the diverse existing platform's spatio-temporal resolutions (particularly in the TIR domain) and the cloudiness at the overpass times. Here we propose an integrated model-based procedure to construct the daily crop actual evapotranspiration ($ET_{c\ act}$) between Landsat 5 Thematic Mapper (TM) two successive cloud-free acquisitions. The proposed $ET_{c\ act}$ construction procedure integrates the $ET_{a\ eb}$ obtained on acquisition days by SEBAL model, the daily temporal dynamics of reference Evapotranspiration (ET_o), satellite-derived vegetation indices, observed soil moisture in the root zone and includes a water balance modelling approach for the estimation of canopy water interception and soil water evaporation. The integrated $ET_{c\ act}$ construction procedure was applied and evaluated by in-situ Eddy-covariance (EC) flux measurements in a vineyard with partial soil coverage in the south of Sardinia Island, Italy. Our main objective is to overcome the spatial and temporal limitation of satellite platforms and provides $ET_{c\ act}$ values on a daily basis, over extended periods (e.g., irrigation season, and with a fine spatial scale (e.g., Agricultural field).

Materials and Methods

Case study, micrometeorological measurements, soil moisture and Landsat data

The experimental site is an 11-hectares Vermentino variety vineyard located within the Argiolas company vineyards near Serdiana municipality in Sardinia Island, Italy (39°21'43" N, 9°07'26" E, 112 m a.s.l.). The area is characterized by the semi-arid Mediterranean climate. The studied field, trained in a Guyot system. Vine roots were mostly concentrated in the first soil layers (0-0.6 m) of the row spacing, and some roots were found at more than 1 m of depth. Soil texture is a silty clay loam with 46% sand, 27% silt, 27% clay, soil field capacity (θ_{FC}) of 27.4 % vol vol-1, a wilting point of 13.8 % vol vol-1, and a basic pH. Drip irrigation is performed with the application of 14 mm of water every 5–7 days during the no-rainfall periods. In this paper, the studied period was restricted from April to November 2010, which was the period from the bud break to the harvesting of the vineyard. The study site energy and mass fluxes were monitored by an Eddy Covariance (EC) micrometeorological station. The half-hourly measured fluxes were corrected by forcing the energy closure using the Bowen ratio (Prueger et al., 2005; Wilson et al., 2002). A meteorological station was established near the vineyard to acquire every 30 min downward and upward short and long wave radiations, air temperature (T), relative air humidity (RH), precipitation (P), wind speed (u2) and atmospheric pressure at 2 m above the ground. These data were used to run the SEBAL model and to compute the hourly and daily reference evapotranspiration (ET_o) by the Penman-Monteith method. Soil volumetric water content (θ) was measured by TDR probes at 0.20, 0.40 and 0.60 m of soil depth, at three locations within the vineyard both in the vine root zone, between two drippers, and in the middle of the inter-row. A threshold θ value of 0.22 was set to indicate well-watered conditions for plants. This value was set based on soil field capacity (FC) and wilting point values, leaf gas exchanges and stem water potential (80% of FC) (Mameli et al. 2012, Marras et al., 2016). Twelve Landsat 5 Thematic Mapper (TM) images (paths 192-193 and row 33), cloud-free on the area of interest, were selected to cover the studied period from April to November. Landsat image subsets were created and processed to obtain surface reflectance and surface radiometric temperature for the area of interest.

Vegetation indices and the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) model

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is obtained from the Landsat near-infrared (ρ_{NIR}) and the red (ρ_{Red}) spectral reflectance data (TM bands 4 and 3) as $\rho_{NIR} - \rho_{Red} / \rho_{NIR} + \rho_{Red}$ (Rouse et al., 1974). The canopy fractional cover f_c was estimated from NDVI as proposed by Gutman and Ignatov, (1998) and the leaf area index (LAI) was estimated from f_c as proposed by the Choudhury (1987). NDVI, f_c and LAI were obtained as mean values over the studied field at the selected acquisition days. For the j days the indices were estimated by linear interpolation between the Landsat acquisition days. The Landsat images,

accompanied by a 10 m digital elevation model (DEM) (<http://www.sardegnaoportale.it/>) and meteorological inputs, were used to produce the SEBAL data layers (i.e., land surface temperature, surface albedo, and surface emissivity). The SEBAL model first retrieves the instantaneous net surface radiation flux R_n , soil heat flux (G) and the sensible heat flux H (Bastiaanssen et al., 1998a). Then the SEBAL model retrieves the instantaneous latent heat flux λE as a residual of the surface energy balance and upscales to actual evapotranspiration on the image acquisition day ($ET_{a,eb}$) by utilizing the constant evaporative fraction as an integration parameter and the net daily radiation estimated by the procedure outlined in the FAO Irrigation and Drainage Paper (Bastiaanssen et al., 1998a).

The stress index K_s , Canopy water interception and the FAO-56 soil water evaporation model

The crop water stress was simulated considering the observed soil moisture changes. The dimensionless weighed stress index (K_s) was derived from the relative water deficit in the different soil layers of the root zone (Jarvis, 1989). K_s was computed considering an effective root depth of 0.6 m. The soil moisture at each centimeter of the root zone ($i=0.01$ m) was obtained by linear interpolation or extrapolation of the measured moisture data. The change of root water uptake as a function of the soil moisture was computed using a dimensionless plant water stress term. The actual canopy water interception (I_c) is modeled by an hourly water balance. The canopy water interception storage is filled by precipitation and is depleted by ET. When the I_c storage capacity (C) is reached, excess precipitation is generated and provides an input for the FAO-56 soil water evaporation model. C (mm) was determined from the Leaf Area Index (LAI) (Dickinson et al., 1991). The evaporation E_s for each day of the studied period, including the acquisition days, is obtained by the daily soil evaporation coefficient following the FAO-56 dual crop coefficient approach (Allen et al., 1998)

The daily $ET_{c,act}$ construction procedure

In images acquisition days the transpiration, $T_{c,act,A,D}$, is obtained by subtracting the daily values of canopy water interception, $I_{c,A,D}$ and soil water evaporation, $E_{s,A,D}$, from the SEB retrieved actual evapotranspiration value, $ET_{a,eb}$ (Eq 01). In the other days (indicated by j subscript in equations below) the actual crop transpiration values are computed by Equation 2, assuming proportionality among $T_{c,act,A,D}$ and the changes of ET_o , NDVI and K_s between the acquisition day and the other days j . Equation 2 is applied forwardly starting from each one of the acquisition days. The daily actual evapotranspiration in non-acquisition days, $ET_{c,act,j}$ is the sum of the modeled daily crop actual transpiration ($T_{c,act,j}$), the canopy water interception ($I_{c,j}$) and the soil water evaporation ($E_{s,j}$).

$$T_{c,act,A,D} = ET_{a,eb} - E_{s,A,D} - I_{c,A,D} \quad (01)$$

$$T_{c,act,j} = T_{c,act,A,D} \cdot \frac{ET_{o,j}}{ET_{o,A,D}} \cdot \frac{NDVI_j}{NDVI_{A,D}} \cdot \frac{K_{s,j}}{K_{s,A,D}} \quad (02)$$

$$ET_{c,act,j} = E_{s,j} + I_{c,j} + T_{c,act,j} \quad (03)$$

The daily $ET_{c,act}$ construction procedure integrated with the SEBAL model is outlined in the flowchart of Figure 1.

Results

The $ET_{c,act,EC}$ values were used as a reference for evaluating the performance of the SEBAL model and the integrated $ET_{c,act}$ construction model. Results showed good agreement between the modelled and observed actual ET on the satellite acquisition (highlighted by red colour in figure 1) and returned an overall average SEBAL estimation error was 11.8%, a coefficient of determination (R^2) of 0.96, and a mean absolute error (MAE) and root mean square error (RMSE) of 0.39 mm d⁻¹ and 0.48 mm d⁻¹, respectively. The estimated $ET_{c,act}$ for the whole studied period were on average 18% less than observed $ET_{c,act,EC}$, the comparison statistics yielded a R^2 of 0.71 a MAE of 0.54 mm d⁻¹, and an RMSE=0.73 mm d⁻¹. Furthermore, a non-parametric Mann–Whitney test suggested no significant difference between the observed $ET_{c,act,EC}$ and $ET_{a,eb}$ estimations on Landsat acquisition days or the constructed $ET_{c,act}$ and that the null hypothesis can be accepted at significance level (α) of 0.05. The estimation errors were on average within the error bounds of the state-of-the-art ET measuring instruments errors and energy balance closure discrepancy from the ideal closure (± 15 to 20%) (Allen et al., 2011; Wilson et al., 2002).

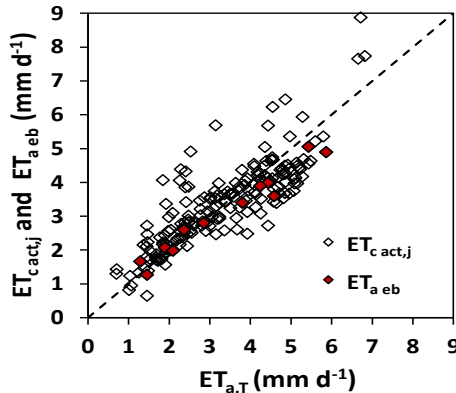


Fig. 1: Comparison of daily observed $ET_{c,act,EC}$ and SEBAL modeled $ET_{a,eb}$ on the Landsat image acquisition days (filled in red) and the daily constructed $ET_{c,act,j}$ on the studied period.

Fig. 1: Confronto tra $ET_{c,act,EC}$ e SEBAL modellato $ET_{a,eb}$ sui giorni di acquisizione dell'immagine Landsat (riempiti in rosso) e $ET_{c,act,j}$ giornaliero costruito nel periodo studiato.

The temporal dynamics of $ET_{c,act,j}$ and $ET_{c,act,EC}$ and precipitation are plotted in Figure 2. The proposed procedure reproduced efficiently the general $ET_{c,act,EC}$ trend. The modeled and observed actual ET show similar patterns of variability. The integrated approach allowed adequately simulating actual ET under contrasting dry and wet conditions.

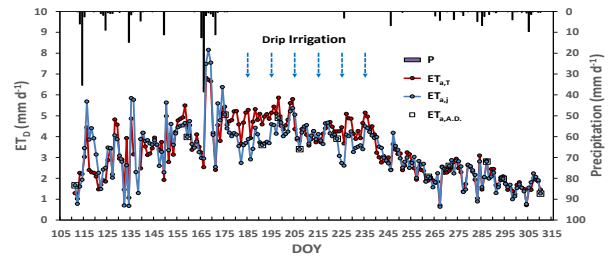


Fig. 2: Daily time series of observed ($ET_{c,act,EC}$) and constructed actual evapotranspiration ($ET_{c,act,j}$), with the indication of the SEBAL estimated $ET_{a,eb}$ and observed precipitation (P).

Fig. 2: Serie temporali giornaliere di evapotraspirazione effettiva osservata ($ET_{c,act,EC}$) e costruita ($ET_{c,act,j}$), con l'indicazione dell' $ET_{a,eb}$ stimato SEBAL e delle precipitazioni osservate (P).

A further TIR image availability sensitivity analysis was performed to assess how the $ET_{c,act,j}$ construction model performs to the temporal availability of SEBAL-retrieved $ET_{a,eb}$. To do this, we hypothesized the worst case, that only one clear-sky TIR image is available to be processed by SEBAL for the entire study period. In this sensitivity analysis the NDVI dynamics is still represented by the values interpolated between Landsat image acquisitions. The $ET_{a,eb}$ obtained by SEBAL in the acquisition days are used within the proposed $ET_{c,act,j}$ construction model one at a time to obtain the complete time series of daily $ET_{c,act,j}$. Each $ET_{a,eb}$ was used in the forward, forward-backward or backward construction of $ET_{c,act,j}$ between the 21st of April and the 6th of November. Table 1 reports the results of the applied sensitivity analysis. The predicted pattern of the daily and cumulated $ET_{c,act,j}$ values were evaluated compared to the observed $ET_{c,act,EC}$ data. On average, the construction procedure reproduced efficiently the observed daily and cumulated $ET_{c,act,EC}$ data. The absolute error in the modeled cumulated $ET_{c,act}$ did not exceed 17% of final observed value, except for the backward $ET_{c,act}$ construction using the $ET_{a,eb}$ of 6-Nov.

Discussion and conclusions

The integrated daily $ET_{c,act}$ construction procedure reproduced efficiently the observed daily values of $ET_{c,act,EC}$ during the complete vegetative annual cycle of a vineyard with partial soil coverage. The temporal analysis of the modeled daily ET data-stream emphasized the importance of integrating the vegetative biomass dynamics and a soil water evaporation model in the daily $ET_{c,act}$ construction approach particularly in the period of low vegetation cover after the bud break and after significant rain events where the evaporative component was significant.

Considering the vegetation dynamics through NDVI increase in late spring allowed to account for the rise in the grapevine's transpiration due to the development of the plant green biomass. In addition to the increase of the atmospheric water demand in the period April-July, from about 3 to 6 mm d⁻¹, the main driver of the increased transpiration fluxes was the vineyard biomass accumulation.

Tab. 1: Cumulated actual evapotranspiration values and performance obtained by using one at a time the $ET_{a\ eb}$ value for the construction of $ET_{c\ act}$ from 21-Apr to 6 Nov, 2010.
 Tab. 1: Valori di evapotraspirazione effettivi cumulati e prestazioni ottenute utilizzando uno alla volta il valore $ET_{a\ eb}$ per la costruzione di $ET_{c\ act}$ da 21 apr.a 6 nov. 2010.

Acquisition day (A.D.)	Cumulated $ET_{c\ act}$ % diff.*	R^2	MAE (mm)	RMSE (mm)
All data	1.1%	0.71	0.54	0.73
21-Apr	17%	0.78	0.73	0.90
8-June	1.8%	0.73	0.51	0.70
24-June	-11%	0.66	0.69	0.86
10-July	-8.7%	0.68	0.63	0.81
17-July	-1,8%	0.71	0.53	0.72
26-July	4.4%	0.74	0.51	0.71
11-Aug	2.2%	0.73	0.51	0.70
19-Sept	-15%	0.63	0.78	0.96
28-Sept	-2.4%	0.73	0.51	0.70
14-Oct	-2.7%	0.71	0.54	0.73
21-Oct	-3.6%	0.70	0.55	0.74
6-Nov	-25%	0.55	1.04	1.23

This highlighted the importance of considering vegetation changes in modelling $ET_{c\ act}$, especially in crops like vines subjected to major changes during the growth cycle. Results suggests that the interpolated vegetation indices were able to simulate the transpiration mass, canopy water interception and evaporative surface in the studied period. Although in this application used Landsat NDVI data permits only a historical analysis, nowadays several available free or low-cost satellite platforms can provide NDVI scenes with a range of few days (e.g., Sentinels 2) supporting the near real-time monitoring of vegetation dynamics at a relatively high spatial resolution (10 m). In the irrigation period (highlighted in figure 2) the model simulated significant evapotranspiration values supported by adequate soil water availability resulting from local irrigation interventions. The distinguished performance of the integrated $ET_{c\ act}$ construction approach during the rainy spring period, when evaporative fluxes are significant and vegetation coverage is low, supported the importance of integrating a soil water evaporation model in the construction procedure. The inclusion of a stress coefficient is required for considering the variation of plant transpiration due to soil moisture changes between acquisition days. Soil moisture data indicated that the studied vineyard suffered of mild water limitation for a short period in late summer, which didn't permit a profound analysis of the effect of plant water stress on transpiration. More investigation with diverse dataset is needed to evaluate the effectiveness of the plant stress correction term in constructing of the transpiration time series. The TIR image sensitivity analysis suggest that the integrated proposed approach could simulate $ET_{c\ act}$ even in scarce data conditions. This integrated modelling approach can sustain and/or reduce the need for low revisit intervals of high spatial

resolution satellite based TIR, knowing that an adequate VSWIR and TIR satellite image collections for $ET_{c\ act}$ estimation can still be hindered by frequent cloudy sky conditions. Although, low revisit time platforms (e.g., ECOSTRESS) may provide a significant improvement in temporal sampling to monitor $ET_{c\ act}$, results shown that an integrated modelling approach is still required to properly simulate the rapid dynamics of soil-plant-atmosphere continuum that can be missed even with revisit time of few days in cloud free conditions particularly in intensive irrigated agriculture. The proposed construction approach is well suited for the near real-time modelling of daily $ET_{c\ act}$, which is of great importance in water management and irrigation scheduling. Here, soil moisture was directly observed in the field. For applications over a larger scale, this approach can be supported by the current availability of low-cost soil probes. Otherwise, the future tendency to produce robust $ET_{c\ act}$ estimates at plot scale will probably rely not only on remote sensing data acquired at different wavelengths and/or resolutions, but also on their combination with local water balance models constrained at regular intervals by $ET_{a\ eb}$ estimates from the TIR domain. For example, the soil moisture dynamics in the root zone can be estimated by hydrological modeling approaches by using the transient flow Richards equation. The application of data assimilation, fusion techniques and integrating the proposed $ET_{c\ act}$ construction procedure with the soil water balance modeling is a priority to realize soon.

Acknowledgments

This research was developed in the framework of the HYDROSARD project funded by the Regione Autonoma Sardegna and was carried out at the Department of Agriculture Sciences of the University of Sassari. The Authors would like to thank Argiolas Company for their kind support during this study (<http://www.argiolas.it/en/index.html>).

Bibliografia

- Allen R. G., Pereira L. S., Howell T. A., Jensen M. E., 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, 98-6, 899-920.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *Irr. Drain. Paper 56*. UN-FAO, Rome.
- Awada H., Di Prima S., Sirca C., Giadrossich F., Marras S., Spano, D., & Pirastru, M., 2021. Daily Actual Evapotranspiration Estimation in a Mediterranean Ecosystem from Landsat Observations Using SEBAL Approach. *Forests*, 12-2, 189.
- Bastiaanssen W.G.M., Menenti M., Feddes R.A., Holtslag A.A.M., 1998a. A remote sensing surface energy balance algorithm for land, SEBAL: 1. Formulation *Journal of Hydrology*, 212–213, 1998, pp. 198-212
- Bastiaanssen W.G.M., Pelgrum H., Wang J., Ma Y., Moreno J.F., Roerink G.J., Van der Wal T., 1998b. A remote sensing surface energy balance algorithm for land,

- SEBAL: part 2: validation. *J. Hydrol., Amst* 212, 213–229,
- Bhattarai N., Shaw S.B., Quackenbush L.J., Im J., Niraula R., 2016. Evaluating five remote sensing based single-source surface energy balance models for estimating daily evapotranspiration in a humid subtropical climate. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 49, 75–86
- Choudhury B. J., 1987. Relationships between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis. *Remote Sensing of Environment*, 22(2), 209-233.
- Delogu E., Olioso A., Alliès A., Demarty J., Boulet G., 2021. Evaluation of Multiple Methods for the Production of Continuous Evapotranspiration Estimates from TIR Remote Sensing. *Remote Sensing*, 13,6, 1086.
- Dickinson R. E., Henderson-Sellers A., Rosenzweig C., Sellers P. J., 1991. Evapotranspiration models with canopy resistance for use in climate models, a review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 54,2-4, 373-388.
- D’Urso G. 2001. Simulation and Management of On-Demand Irrigation Systems: a combined agro-hydrological approach. PhD Dissertation, Wageningen University, p. 174, ISBN 90-5808-399-3.
- Gutman G., Ignatov A., 1998. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *International Journal of remote sensing*, 19-8, 1533-1543.
- Jarvis N. J., 1989. A simple empirical model of root water uptake. *Journal of Hydrology*, 107,1-4, 57-72.
- Marras S., Achenza F., Snyder R. L., Duce P., Spano D., Sirca, C., 2016. Using energy balance data for assessing evapotranspiration and crop coefficients in a Mediterranean vineyard. *Irrigation Science*, 34-5, 397-408.
- Masia S., Trabucco A., Spano D., Snyder R. L., Sušnik J., Marras S., 2021. A modelling platform for climate change impact on local and regional crop water requirements. *Agricultural Water Management*, 255, 107005.
- Molden D., Oweis T., Steduto P., Bindraban P., Hanjra M. A., Kijne J., 2010. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 97-4, 528-535.
- Prueger J.H., Hatfield J.L., Parkin T.B., Kustas W.P., Hipps L.E., Neale C.M.U., MacPherson J.I., Eichinger W.E., Cooper, D.I., 2005. Tower and Aircraft Eddy Covariance Measurements of Water Vapor, Energy, and Carbon Dioxide Fluxes during SMACEX. *J. Hydrometeors*, 6, 954–960, doi:10.1175/JHM457.1.
- Rouse J. W., Haas R. H., Schell, J. A., Deering D. W., Harlan J. C., 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation, green wave effect of natural vegetation. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Maryland, p. 371.
- Wagle P., Bhattarai N., Gowda P.H., Kakani V.G., 2017. Performance of five surface energy balance models for estimating daily evapotranspiration in high biomass sorghum. *Isprs J. Photogramm. Remote. Sens.* 128, 192–203.
- Wilson K., Goldstein A., Falge E., Aubinet M., Baldocchi D., Berbigier P., Bernhofer C., Ceulemans R., Dolman, H., Field C., Grelle A., Ibrom A., Law B.E., Kowalski A., Meyers T., Moncrieff J., Monson R., Oechel W., Tenhunen J., Valentini R., Verma S., 2002. Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113,1-4, 223-243.

STIMA DELLA PERDITA DI PRODUZIONE LORDA VENDIBILE IN UN AMPIO COMPENSORIO IRRIGUO DEL FRIULI VENEZIA GIULIA, A CAUSA DELLA RIDUZIONE DEI VOLUMI IRRIGUI DERIVATI DAL FIUME TAGLIAMENTO NEL RISPETTO DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE

ESTIMATION OF GROSS SALEABLE PRODUCTION LOSS IN A WIDE IRRIGATED AREA IN FRIULI VENEZIA GIULIA REGION, AS CONSEQUENCE OF THE REDUCTION IN THE IRRIGATION WATER VOLUMES TAKEN FROM TAGLIAMENTO RIVER TO COMPLY WITH WATER MINIMUM VITAL OUTFLOW REQUIREMENTS

Stefano Barbieri¹, Mariangela Sandra¹, Alessandra Carnio¹, Valentino Volpe¹, Andrea Cicogna^{2*}, Valentina Gallina²

¹ ERSÀ-FVG Via Sabbatini, 5, 33050 Pozzuolo del Friuli UD

² ARPA-FVG – S.O.C. Osmer, Via Natisone, 43, 33057 Palmanova (UD) - *andrea.cicogna@arpa.fvg.it

Abstract

This paper describes the effect of decreasing water volumes withdrawal by a local land reclamation consortium (Consorzio di Bonifica Pianura Friulana, CBPF) to comply with water minimum vital outflow (DMV) requirements of the Tagliamento river. Loss in productivity of the main irrigable cultivations along with the related economic impacts are considered in an agri-cultural area of over 20,000 hectares involving the territory of 20 municipalities of the friulian plain. Estimation of the effects of irrigation volumes reduction on cultivations productivity has been carried out using a simulation model of water balance run on daily basis and considering twenty-year meteorological data series, as well as the pedological features of the investigated area and the information on the cultivations grown retrieved from the farms holding files, years 2015 to 2019, managed and kept by the national agency AgEA (Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura). The study conducted is functional to an environmental impact assessment procedure (VINCA) for the Site of Community Importance (SCI) “Valle del medio Tagliamento”.

Parole chiave

Friuli Venezia Giulia, irrigazione, deflusso minimo vitale, produttività

Keywords

Friuli Venezia Giulia Region, irrigation, minimum vital outflow, productivity

Introduzione

Lo scopo del presente lavoro è quello di stimare l'effetto che può avere una riduzione dei volumi di acqua, prelevati dal Consorzio di Bonifica Pianura Friulana (CBPF) presso la presa di Ospedaletto (situata a Gemona del Friuli), sulla produttività delle principali colture agrarie irrigue (e relative ripercussioni economiche), nel rispetto del deflusso minimo vitale (DMV) del fiume Tagliamento.

La presente analisi riguarda le superfici agricole servite dall'acqua di irrigazione derivata della presa di Ospedaletto ed integrata con l'acqua derivata dal fiume Ledra alla presa di Andreuzza (Fig. 1). La superficie lorda del comprensorio è di 20.548 ha, di cui 13.697 ha irrigati con metodo ad “aspersione” e 6.851 ha a “scorrimento”. A queste superfici vanno aggiunti circa 1.000 ha che ogni anno vengono irrigati con modalità “irrigazione di soccorso”.

La stima degli effetti della riduzione dei volumi irrigui sulla produttività agricola è stata condotta attraverso simulazioni del bilancio idrico giornaliero utilizzando un modello messo a punto da OSMER (Osservatorio Meteorologico) -ARPA FVG in stretta collaborazione con ERSÀ nell'ambito del progetto AgriCS finanziato dalla sottomisura 1.2 del Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Le simulazioni sono state

condotte su una serie storica di 20 anni di dati meteorologici, utilizzando specificatamente l'ultimo quinquennio tenendo conto dell'effettiva ripartizione culturale ricavata dai

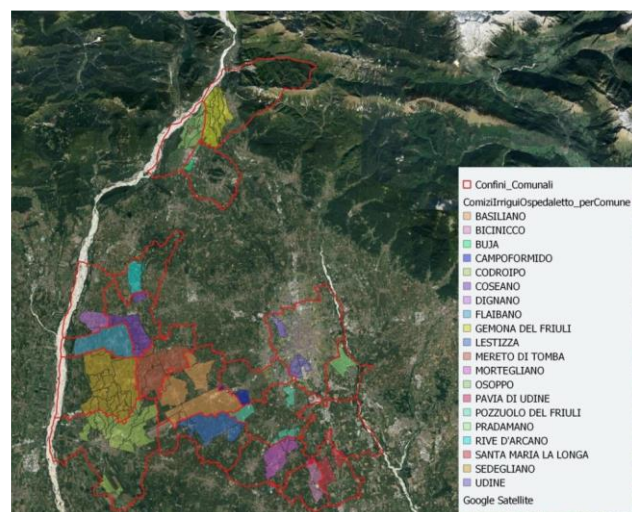


Fig. 1 Aree irrigue servite dalla presa di Ospedaletto.

Fig. 1. Irrigation area served by the Ospedaletto water intake.

dati dei fascicoli aziendali dal 2015 al 2019 gestiti da Agea (Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura).

Materiali e Metodi

Ripartizione colturale

Per definire la ripartizione colturale media dell'area sono stati puntualmente analizzati i dati dedotti dai fascicoli delle aziende agricole i cui terreni ricadono nell'area oggetto di studio.

Nel computo dei danni derivanti dalla riduzione dei volumi irrigui sono state considerate sia le colture principali che quelle secondarie. Queste ultime superfici sono state sommate al totale e corrispondono alle superfici dichiarate a orzo e frumento come coltura principale. Trattandosi di aree irrigue, si è valutato che buona parte delle superfici di orzo e frumento in coltura principale siano normalmente destinate a soia in secondo raccolto.

Sulla base di queste considerazioni è stata calcolata la ripartizione colturale media del quinquennio 2015 – 2019 sulla quale sono state condotte ulteriori valutazioni di carattere economico. I dati indicano una superficie media di 8.281 ha coltivata a mais, 2.542 ha a soia di primo raccolto, 2.395 ha a soia di secondo raccolto, 761 ha a erba medica, 103 ha di actinidia, 383 ha a melo e pero e 249 ha a vite varietà "Glera".

Inquadramento ambientale e pedologico

L'area oggetto dello studio interessa una porzione del territorio compreso tra la pedemontana occidentale udinese in destra orografica del Tagliamento e la fascia delle risorgive che attraversa la pianura udinese indicativamente da Codroipo a Palmanova (direzione WNW-ESE) e si possono riconoscere al suo interno alcuni settori con diverse caratteristiche pedoclimatiche.

Per una descrizione climatica del territorio si rimanda alla bibliografia (ARPA FVG, 2014).

Si ricorda che le precipitazioni medie annue variano da circa 1200 mm, in corrispondenza della fascia delle risorgive, a valori vicini a 2000 mm nella parte più settentrionale con un gradiente crescente da sud a nord. Va rilevato che, nonostante la buona piovosità annuale, durante la stagione estiva il bilancio pluviometrico (calcolato come differenza tra le piogge e i consumi idrici del prato, preso come coltura di riferimento) assume valori negativi, in particolare nel settore immediatamente a monte delle risorgive.

Per un inquadramento relativo alla pedologia della zona di studio si rimanda alla cartografia pubblicata sul sito ERSa (http://www.ersa.fvg.it/export/sites/ersa/aziende/servizi/suolo/allegati/Poster_alta_UD.pdf).

Relativamente alle aree servite dall'irrigazione derivante dalla presa di Ospedaletto, in tabella 1 sono riportate, per ciascuno dei comuni interessati, le frequenze delle diverse tipologie di terreno. Una valutazione relativa all'area nel suo complesso indica come le tipologie di suolo largamente prevalenti siano le FLA1 e FLA2 che complessivamente coprono circa l'85% del territorio oggetto di studio. I suoli FLA1 sono caratterizzati da moderata profondità e presenza

di scheletro in quantità rilevante già dalla superficie, mentre i suoli FLA2 risultano leggermente più profondi e con un minor contenuto in scheletro. Suoli più profondi e a tessitura

Tab. 1. Frequenza tipologie di suolo (OSO2, TOM1, FLA1, FLA2, FLA3, PAV2) nei comuni, loro consistenza areale e distribuzione percentuale.

Tab. 1 – Soil types (OSO2, TOM1, FLA1, FLA2, FLA3, PAV2) in the Municipalities considered, their area extent and percentage breakdown.

Comune	ha irrigati da presa di Ospedaletto	OSO2		TOM1		FLA1		FLA2		FLA3		PAV2	
		%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
BASILIANO	2922,09					45	1315,30	55	1607,59				
BICINICO	407,26											55	223,99
BLAIA	105,21	90	94,69	10	10,22								
CAMPOFORMIDO	197,2					55	128,16	35	69,02				
CODROIPO	2335,6					60	1401,96	40	934,24				
COSFANO	987,59					58	561,20	42	406,39				
DIGNANO	480,89					45	216,40	55	264,49				
FLAIBANO	1451,1					60	870,66	40	580,44				
GEMONIA DEL FRIULI	1167	80	933,60	20	233,40								
LESTIZZA	1346,02					45	606,07	55	740,75				
MERETO DI TOMBA	1011,00					60	1087,13	40	724,75				
MORTEGLIANO	820,51					35	287,18	65	533,33				
OSOPPO	682,41	90	614,17	10	68,24								
PAVA DI UDINE	471,0							25	118,00			75	353,99
POZZOLO DEL FRIULI	702,12					35	306,17	45	315,95				
PRADAMANO	390,19					50	195,10	50	195,10				
RIVE D'ARCANO	430,96					35	153,90	65	280,06				
SANTA MARIA LA LONGA	535,62							25	133,91			75	401,72
SEDEGLIANO	3239,02					60	1943,09	40	1295,93				
UDINE	491,42							35	172,00	65	319,42		
TOTALE	20541,27	8,00	1542,45	1,52	312,15	44,55	9152,13	41,16	8454,01	1,56	319,42	3,22	651,09

più fine, quali i FLA3 e i PAV2, presenti nel settore più orientale e influenzato dalle deposizioni del torrente Torre, interessano superfici più contenute. Nel campo osovanogemonese, infine, prevalgono, nelle aree irrigate, i suoli OSO2, caratterizzati da moderata profondità e scheletro superficiale, mentre marginale risulta la presenza dei suoli TOM1 più profondi.

Sistema irriguo e valutazione delle portate derivate dai fiumi Ledra e Tagliamento

Il comprensorio irriguo oggetto della valutazione è servito principalmente dalla presa Ospedaletto, presso la quale viene prelevata dal Tagliamento una portata di 26 mc/sec, al netto del Deflusso Minimo Vitale (DMV) fissato in 8 mc/sec, a cui si aggiungono circa 5 mc/sec apportati dal fiume Ledra al nodo di Andreuzza. Sulla base di queste premesse la portata totale derivata a servizio del comprensorio viene stimato in 31 mc/sec totali. A questa portata vanno però detratte sia la quantità d'acqua rilasciata nei canali a valle delle singole derivazioni, denominata "portata minima tecnica", che le varie perdite "di rete", ovvero perdite di portata che si verificano in fase di adduzione e distribuzione a causa della struttura della rete stessa, ad es. per infiltrazione e percolamento. La "portata minima tecnica" è stimata come somma delle portate che devono essere garantite sempre su tutta la rete di distribuzione, anche nei singoli canali di derivazione a valle dell'ultimo prelievo; tale portata sui canali di derivazione è necessaria non solo per l'irrigazione di soccorso ma anche per il mantenimento di usi civili, igienici ed energetici nonché dei parametri ambientali.

Sulla base di queste valutazioni, la portata totale di acqua resa disponibile effettivamente per la sola pratica irrigua tramite il sistema Ledra-Tagliamento si attesta a 16,8 mc/sec.

Nel corso degli anni il CBPF, si è trovato più volte nella condizione di dover richiedere delle deroghe al valore del deflusso minimo vitale (DMV) fissato in 8 mc/sec per compensare i cali di portata idrica del fiume Tagliamento presso la presa di Ospedaletto. Le varie deroghe richieste hanno sempre avuto carattere temporaneo per superare i momenti di criticità e normalmente fissavano il DMV a 4 mc/sec. Tali deroghe hanno raggiunto il limite estremo di rilascio di 0,8 mc/sec nel 2003. Diversi provvedimenti eccezionali negli anni scorsi hanno autorizzato rilasci variabili da 1,6 a 3 mc/sec.

Considerata l'impossibilità di intervenire sulla "portata minima tecnica" e ipotizzando di mantenere il DMV a 8 mc/sec è evidente che un calo delle portate d'acqua derivate alla presa di Ospedaletto si riflette necessariamente sulle portate disponibili per l'irrigazione del territorio servito. Sulla base di questi presupposti si stima che un calo della portata di 4 mc/sec, non compensato da una riduzione del DMV, riduca del 24% la portata irrigua utilizzabile (da 16,8 a 12,8 mc/sec), mentre un calo della portata derivata di 6 mc/sec, non compensato da una riduzione del DMV, porti a ridurre le portate prelevabili da 16,8 a 10,8 mc/sec con un calo della quantità d'acqua disponibile stimato del 35%.

Valutazioni sulle riduzioni di resa conseguenti alle possibili restrizioni di uso dell'acqua

Le valutazioni sono state condotte utilizzando un modello di simulazione del bilancio idrico giornaliero del suolo che tenesse conto delle precipitazioni, dell'evapotraspirazione e degli apporti irrigui; la riserva idrica è stata calcolata in funzione delle caratteristiche del suolo (tessitura, quantitativo di scheletro, profondità).

Per quanto concerne gli apporti irrigui, è stato possibile simulare le turnazioni in coerenza con la gestione consortile attuale e si è agito sul quantitativo fornito, riducendo del 30% le quantità apportate normalmente nel singolo turno per simulare la condizione di riduzione conseguente al minor prelievo dalla presa di Ospedaletto, in linea con quanto ipotizzato al precedente paragrafo.

Ai fini delle simulazioni si è scelto di operare sulle colture principalmente interessate dall'irrigazione e che maggiormente risentirebbero di una riduzione quantitativa degli apporti idrici quali mais, soia (di primo e di secondo raccolto, differenziando nella simulazione la data di semina), erba medica e vite (varietà Glera). La valutazione dell'evapotraspirazione è stata effettuata in coerenza con l'approccio della FAO (Allen et al., 1998) utilizzando i coefficienti colturali (kc) differenziati per fase fenologica delle colture, mentre le riduzioni sulla resa sono state valutate attraverso i coefficienti di risposta all'acqua (ky), anche in questo caso secondo quanto proposto dalla FAO (Doorenbos e Kassam, 1979). In tale metodo la riduzione di resa è direttamente legata al rapporto tra l'evapotraspirazione reale, determinata dall'acqua realmente disponibile, e

l'evapotraspirazione massima che si potrebbe avere in condizioni di ottimale disponibilità idrica. Il bilancio idrico calcolato dal modello viene integrato da un indice multicriteria per l'analisi di rischio sulla presenza di micotossine nella granella di mais sviluppato anch'esso nell'ambito del progetto *AgriCS* ispirandosi a Salvacion et al., (2015) e tenendo conto di alcuni aspetti delle linee guida messe a punto a livello nazionale (Reyneri et al., 2015). Allo scopo di ottenere una valutazione su un numero significativo di annate, le simulazioni sono state condotte su serie di dati meteorologici ventennali per le stazioni di riferimento dell'area, individuate in quella di Gemona del Friuli per la parte settentrionale corrispondente al campo osovanogemonese e in quella di Udine per la parte dell'alta pianura. Le simulazioni sono state ripetute, per ciascuna delle colture sopra riportate, utilizzando le diverse tipologie di terreni presenti nell'area di indagine.

Successivamente, allo scopo di fornire una valutazione puntuale che tenesse conto delle reali consistenze colturali presenti sul territorio in esame, sono stati considerati i dati di superficie coltivata a mais, soia, erba medica e vite (varietà Glera), estrapolati dalla banca dati dei fascicoli aziendali riferite agli ultimi 5 anni (2015-2019). Sono stati selezionati, attraverso l'analisi delle particelle catastali, solamente i mappali ricadenti sui terreni serviti dal consorzio di bonifica utilizzando il prelievo della presa di Ospedaletto (Fig. 1).

Su queste basi, pertanto, si sono ottenute distintamente per ciascun comune, le superfici investite con le diverse colture in 5 anni (2015-2019) e le riduzioni di resa in conseguenza della riduzione dell'apporto idrico ipotizzabili sulla base delle risposte delle simulazioni; i risultati finali sono stati ottenuti "pesando" le riduzioni di resa, tenendo conto della diffusione delle diverse tipologie di suolo all'interno dell'area irrigata.

Infine, è stata considerata, per ciascuna coltura, la riduzione di produttività nei 5 anni relativa al territorio servito dall'acqua di irrigazione derivata dalla presa di Ospedaletto, intesa come media ponderata, calcolata tenendo conto delle riduzioni ottenute nei diversi contesti pedoclimatici individuati e dell'estensione delle singole colture all'interno degli stessi. Allo stesso modo è stato effettuato il calcolo tenendo in considerazione le tre annate più critiche del quinquennio.

Risultati

Riduzione di produttività per coltura

Le figure da 2 a 5 mostrano, per ciascuna coltura, le riduzioni di resa ipotizzabili in conseguenza della diminuzione dell'apporto idrico che si ottengono utilizzando i dati meteorologici degli ultimi 20 anni. Risulta chiaro che per i suoli meno profondi e a granulometria medio-grossolana (FLA1, che come si è visto costituiscono oltre il 40% dell'area studiata) le riduzioni di produttività attese per il mais (Fig.2) sono di una certa entità per almeno 5 anni (riduzioni che superano il 25%) e rimangono significative (sopra il 20%) per circa la metà delle annate del ventennio.

Per i suoli FLA2 le riduzioni risultano mediamente sopra il 10% con punte vicine al 20%. Per suoli con maggiori profondità o tessiture più fini, che sono però molto meno diffusi, le riduzioni sono rilevanti in un numero più limitato di annate.

Per i medicai (Fig.3) le riduzioni sono consistenti (superiori al 25%) per almeno la metà delle annate, e con punte che si avvicinano al 40% in corrispondenza dei suoli FLA1 e risultano comunque rilevanti, per un numero più limitato di annate, anche nei suoli a media profondità (FLA2 e OSO2 in particolare).

Andamento analogo a quanto visto per le colture già citate si può rilevare anche per la soia (Fig.4), con riduzioni superiori al 20% per i suoli FLA1 per almeno metà dei 20 anni considerati. Sono frequenti anche le riduzioni dell'ordine del 10% negli altri suoli.

Per la varietà Glera della vite, infine, si può notare (Fig.5) un marcato effetto sulle rese nei suoli FLA1, diffuso in tutte le annate con punte che superano il 35%, ma si evidenziano riduzioni di produttività, seppur meno drastiche, anche in corrispondenza dei suoli a media profondità.

Riduzione produttività territoriale

La riduzione di produttività nel territorio servito dall'acqua di irrigazione nei 5 anni e nelle tre annate più critiche del quinquennio è riportata in Tab 2.

Stima del danno

Considerato che la deroga al DMV viene richiesta solamente in particolari condizioni di carenza idrica, si è ritenuto opportuno fare riferimento ai dati dei 3 anni più critici del quinquennio analizzato, per cui sono state prese a riferimento le annate 2015, 2017 e 2019. Il calcolo del danno potenziale è stato fatto definendo la perdita di PLV media delle singole colture irrigue, utilizzando i coefficienti di riduzione derivati dalla diminuzione dei volumi irrigui a disposizione. La perdita unitaria è stata successivamente parametrata alla SAU di ognuna delle colture oggetto dell'analisi nel comprensorio irriguo. Per quanto riguarda il mais, il coefficiente di riduzione, derivato dalla riduzione dei volumi irrigui è stato opportunamente rideterminato per tenere conto del danno causato dalla contaminazione di micotossine, sulla base dei risultati dell'indice di rischio di presenza delle stesse nella granella. La tabella 3 sintetizza il totale del danno derivante dalla riduzione dei volumi irrigui che si attesta in 11.717.587,60 euro/anno.

Conclusioni

Il risultato dell'analisi evidenzia il notevole impatto economico che la deroga al DMV comporta sul settore agricolo nel comprensorio irriguo servito dal sistema di derivazione idrica Ledra-Tagliamento. Tale impatto risulta più rilevante sulla filiera maidicola.

In relazione al tema dei cambiamenti climatici, valutazioni effettuate in regione indicano che, nel futuro, la disponibilità idrica per l'irrigazione potrebbe essere molto ridotta rispetto all'attuale anche in relazione alla concorrenza di altri settori economici e/o ambientali per la risorsa (Olivo et al., 2018).

Sulla base di queste considerazioni, è evidente l'esigenza di ottimizzare l'uso della risorsa irrigua.

Una delle leve finanziarie più rilevanti in ambito agricolo è sicuramente rappresentata dal Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 rispetto alla possibilità di orientare il

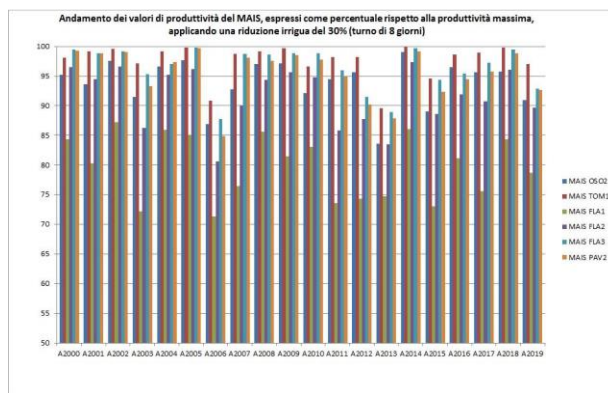


Fig. 2 Produttività del mais rispetto al massimo teorico (%).

Fig. 2 Corn productivity with respect to the theoretical maximum.

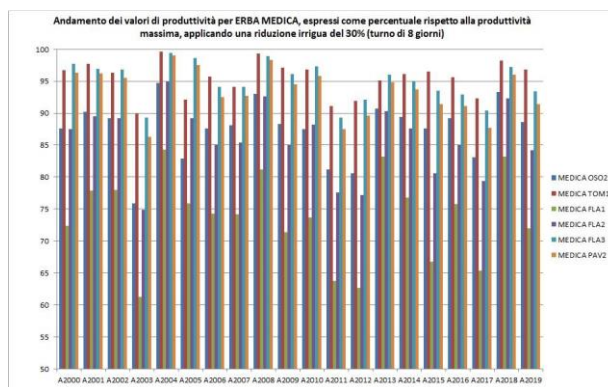


Fig. 3 Produttività dell'erba medica rispetto al massimo teorico (%).

Fig. 3 Alfalfa productivity with respect to the theoretical maximum.

comportamento delle aziende agricole sia attraverso scelte virtuose sugli aspetti agronomici che attraverso investimenti che consentano l'ottimizzazione nell'uso delle risorse ed un aumento dell'efficienza. Rispetto al tema del contrasto ai cambiamenti climatici e dell'efficientamento idrico assume rilevanza il progetto finanziato dal PSR con l'intervento 1.2 "Trasferimento di conoscenze e azioni di informazione". Il progetto denominato "AgriCS" (Agricoltura, Conoscenza, Sviluppo) si è concluso nel 2021 ed è stato sviluppato dall'Agenzia regionale per lo sviluppo rurale (ERSA). AgriCS è stato realizzato con l'obiettivo di creare una piattaforma web aperta che comprenda una serie di modelli matematici previsionali e di simulazione, nonché di sistemi di supporto alle decisioni rivolti alle aziende agricole

del territorio regionale e che, più in generale, possano rivestire significato per il trasferimento di informazioni e innovazione a favore del settore agricolo.

Rispetto al tema in oggetto è particolarmente d'attualità lo sviluppo del modello matematico dedicato all'irrigazione delle colture a livello aziendale (IR) nonché gli scenari agrometeorologici, in particolare quelli legati al bilancio idrico su base territoriale, frutto della stretta collaborazione tra ARPA FVG-OSMER ed ERSA.

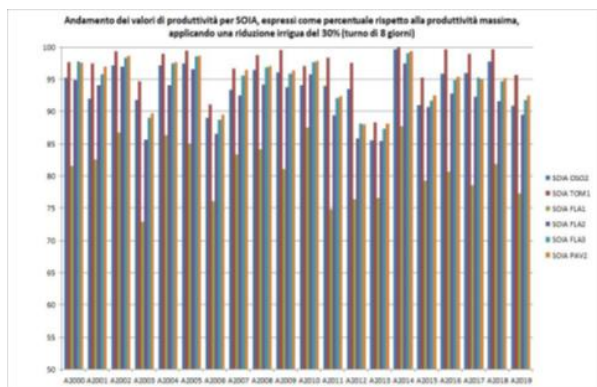


Fig. 4 Produttività della soia rispetto al massimo teorico (%)

Fig. 4 Soybean productivity with respect to the theoretical maximum.

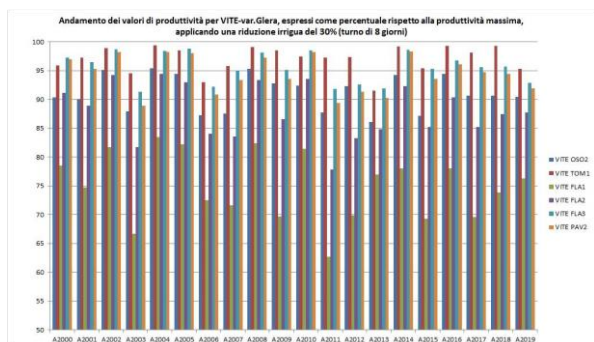


Fig.5 - Produttività della vite, varietà Glera, rispetto al massimo teorico (%)

Fig. 5 Vine productivity, Glera variety, with respect to the theoretical maximum

Tab. 2 Riduzione (%) media della produttività delle colture nei 5 anni(2015-2019) e nei 3 anni più critici.

Tab. 2 Average reduction (%) in productivity of the four cultivations of the study in the 5 years considered (2015-2019) in the most critical years

ANNUALITA'	2015	2016	2017	2018	2019	MEDIA DANNO QUINQUENNIO	MEDIA DANNO 2015 2019
MAIS	18,8	13,1	16,5	9,6	15,5	14,7	16,9
SOIA I	14,7	12,8	13,5	11,8	15,5	13,7	14,6
SOIA II ORZO/FRUMENTO	14,7	12,8	13,5	11,8	15,5	13,7	14,6
ERBA MEDICA	24,5	18,5	25,7	11,1	19,6	19,9	23,3
ACTINIDIA	30	30	30	30	30	30,0	30,0
MELO/PERO	25	25	25	25	25	25,0	25,0
GLERA	23,2	16,2	23,1	19,7	18,3	20,1	21,5

Tab. 3. Stima del danno territoriale con derivazione irrigua alla "presa di Ospedaletto"

Tab. 3. Productivity reduction estimate in the area served by the Ospedaletto water intake

COLTURE	SAU COMPRESORIO IRRIGUO -HA	% DANNO - RIDUZIONE PRODUTTIVA (MEDIA ANNI 2015 2017 2019)	% DANNO MICOTOSINE (MEDIA ANNI 2015 2017 2020)	% DANNO ANNUO TOTALE	PRODUZIONE UNITARIA QLI/HA	VALORE PRODOTTO EURO/QLI	STIMA DANNO ANNUALE (TRIENNIO DI RIFERIMENTO)
MAIS	8280,88	16,9	10,42	27,3	140	18	5.701.088,32 €
SOIA I	2541,59	14,5	0	14,5	42	37,93	587.090,72 €
SOIA II ORZO/FRU	2395,29	14,5	0	14,5	35	37,93	461.080,75 €
ERBA MEDICA	760,70	23,3	0	23,3	135	19,53	467.312,15 €
ACTINIDIA	103,40	30,0	0	30,0	250	61	473.055,00 €
MELO/PERO	383,21	25,0	0	25,0	400	80	3.065.696,00 €
GLERA	248,65	21,5	0	21,5	180	100	962.264,66 €
TOTALE	14713,72						11.717.587,60 €

Bibliografia

- ARPA-FVG, 2014. Il clima del Friuli Venezia Giulia. https://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/02_documenti_d_escrittivi_report_e_approfondimenti/01_Il_clima_del_Friuli_Venezia_Giulia/clima_fvg-divulgativo.pdf
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. FAO irrigation and drainage Paper No. 33, FAO, Rome, Italy. 193 pp.
- Olivo P., Iervolino D., Cicogna A., Barbieri S., 2018. Effetti dei cambiamenti climatici sulla disponibilità di risorsa idrica Atti del XXI Convegno Nazionale di Agrometeorologia ISBN ISBN. 9788898010820 DOI. <http://doi.org/10.6092/unibo/amsacta/5886> pp 39-45
- Reyneri A., Bruno G., D'Egidio M.G., Balconi C. (a cura di), 2015. Linee guida per il controllo delle micotossine nella granello di mais e frumento. Ministero delle politiche agri-cole, alimentari e forestali – Dip.to delle politiche competitive, della qualità agroalimentare, ippiche e della pesca - Piano cerealicolo nazionale, 2010.
- Salvacion, Arnold R., Ireneo B. Pangga, and Christian Joseph R. Cumagun, 2015 Assessment of mycotoxin risk on corn in the Philippines under current and future climate change conditions. Reviews on environmental health 30.3 (2015): 135-142.

USO DEI TELI PACCIAMANTI IN ARBORICOLTURA: EFFETTI DI TEMPERATURA E CONTENUTO IDRICO DEL SUOLO SULLA CRESCITA DI FRUTTI DI PESCO (*PRUNUS PERSICA* (L.) BATSCH) MONITORATI IN CONTINUO

USE OF MULCHING FILM IN ARBORICULTURE: EFFECTS OF TEMPERATURE AND WATER SOIL CONTENT ON PEACH (*PRUNUS PERSICA* (L.) BATSCH) FRUIT GROWTH CONTINUOUSLY MONITORED

Maria Roberta Bruno^{1*}, Onofrio Cappelluti¹, Gabriele De Carolis¹, Teresa Mongelli¹, Gianfranco Rana¹, Rossana Monica Ferrara¹, Anna Francesca Modugno¹, Pasquale Campi¹

¹ Research Centre for Agriculture and Environment, CREA-Council for Agricultural Research and Economics, Bari, 70125, Italy

* mariaroberta.bruno@crea.gov.it

Abstract

This study monitored continuously the growth of peach fruits (cv. Calred) in the last phase of growth before harvesting (from 5 August to 7 September 2021). The trial was conducted on an experimental farm located in southern Italy to detect the differences in growth between the control fruits (P0) and the fruits on which a mulch covered with a black/white (P1) and black/silver (P2) cloth were present. Fruit monitoring was carried out using a system of custom-built fruit diameter gauges, measuring changes in fruit growth every 15 minutes. The changes in fruit diameters were linked to soil moisture and temperature, measured in continuous as well. The data showed that the diameters of fruits of P1 and P2 were 16% bigger than P0 for both treatments, such as the higher soil water content (+4%) and soil temperature (+ 1 °C) of mulching treatments concerning P0.

Parole chiave

Drupacee, Frutteto, Misuratori di frutta, gestione suolo, sonde capacitive

Keywords

Drupaceae, Orchard, Fruit gauges, soil management, capacitance probes

Introduction

Mediterranean climate increasingly subjected to extreme weather events, with frequent and longer drought conditions and variable precipitation regimes, has strong impact on the efficient use of water for cultivations.

Continuous monitoring of agro-meteorological variables and growth of fruits, combined with the use of innovative cultivation techniques, aim to improve the water use, quickly and accurately identifying the phases of water stress to which crops can be subjected (Thompson et al., 2007).

Particular attention should be paid to fruit crops needing a huge quantity of water to stably produce. Peach trees (*Prunus persica* (L.) Batsch), which need about 150 liters of water per plant to produce (Frecon, 2002), are a typical Mediterranean tree crop to be investigated for assessing the actual water use and efficiency (Jiménez et al., 2020). In recent years it is increasingly common to use mulching films even in orchards because mulching improves the cycle of water and heat in the soil ecosystem (Suo et al., 2019 among others). In addition, mulching films greatly limit weed growth along orchard rows, limiting both herbicide use and competition for irrigation resources between the main crop and weed plants (Sharma et al., 2017).

In peach orchards, as reported by Campi et al (2020), mulching reduces soil evapotranspiration and improves fruit yields. Soil temperature and moisture, which greatly affecting the soil environment, must be continuously

monitored when mulching films are used (Fares et al., 2000; Wang et al., 2015). Furthermore, monitoring soil moisture trends under mulching films is essential due to their shield effect which limits the use of rainwater (Miller et al., 2014). In recent decades, for monitoring the health of plants together with the indirect method linked to the soil water content, direct monitoring systems of fruit growing have been developed (Morandi et al., 2007). These devices allow measuring fruit gauges diameter constantly by providing real-time information on fruit development (Boini et al., 2017). It is necessary to monitor the state of the fruit in the different phenological phases of growth, especially in the final phase of fruit growth when the xylem and phloematic flows within the plant and towards the fruit require large amounts of water (Morandi et al., 2009).

The objective of this study is to examine how the use of mulching films with two different colorations (C/902 Black White, C/820 Black Silver) affects the peach development, focusing attention on soil temperature and moisture impacts on the variation of fruit diameter during the last phase of fruit growth (III phenological stage-ripening).

Materials and Methods

The study was carried out at the experimental farm of CREA-AA located in Rutigliano (lat.: 40_590 N, long.: 17 010 E, alt.: 147 m asl), on 5-year-old peach trees (*Prunus Persicae* L.), cv Calred, grafted on GF 677 with a 5m x 5m

planting. Only the last phase of fruit growth before harvesting (from 5 August to 7 September 2021) was continuously monitored by a system of custom-built fruit gauges diameter developed by Winet, Srl. (Cesena, Italy) (Fig.1) able to acquire changes in fruit growth every 15 minutes. The trial was performed on the control fruits (P0) and, on two treatments where two 100 μm thickness mulch covers were present: mulch cover C/902 Black White (P1, PolyEur Srl., Benevento, Italy) and mulch cover C/820 Black Silver (P2, PolyEur Srl., Benevento, Italy). A total of 108 plants were involved in the trial, divided into randomized blocks, in three replicates. Using fruit diameter gauges, 4 fruits along the 4 cardinal points (N, S, W, E) on 3 trees were monitored for each treatment.



Fig.1 Fruit diameter gauges placed on a fruit peach at the III phenological stage.

Fig.1 Misuratori di diametro dei frutti posti su un frutto di pesco al III stadio fenologico.

Soil water content (SWC) and temperature (T_{soil}) in P0, P1 and P2 were monitored using 9 probes (Fig. 2a, Fig. 2b) Sentek Drill & Drop Probe, 60cm, (Sentek Sensor Technologies, Stepney, South Australia, Australia). The depth of cultivation however, is approximately 50-55 cm so the first two measurements were excluded because the probes were out of the soil. Considering the horizon of the soil, the half-hourly SWC and T_{soil} were taken at 15, 35, 45 cm, corresponding at the probes length of 30, 50, 60 cm. Soil water content in volume at field capacity (FC) and wilting point (WP) were $0.36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ and $0.22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Campi et al., 2019). The weather data were collected by standard a meteorological sensors for monitoring air temperature, relative humidity, precipitation and incident global radiation, continuously measured at 10 s interval over a fescue grass (*Festuca arundinacea* Schreb.) 350 m far from the experimental field and hourly recorded by an automatic weather station (Campbell Sci., USA). Statistical analysis conducted on T_{soil} , SWC and fruit growth in the three different treatments were obtained by daily averages. The overall data of fruit growth in each treatment were reported through boxplots. These show lines at the lower quartile, median, and upper quartile values, whiskers to display the range of dispersion of the remaining data, and outliers as individual data points. The ANOVA was used to analyze the significant difference in the fruit grown in the treatments. The

statistical analyses were computed using the R statistical software environment (<http://www.r-project.org>).



Fig. 2 (a) Sonde Sentek Drill & Drop in fase di installazione, (b) Sonde Sentek posizionate nel terreno e collegate al data logger.

Fig. 2 (a) Sentek Drill & Drop Probes being installed, (b) Sentek probes placed in the ground and connected to the data logger.

Results and Discussion

Figure 3 shows the difference (ΔT) daily at 30 min intervals between air and soil temperature for P0, P1 and P2 (Lozano-Parra et al., 2018). Even if the dynamics of this variable is the same in the three treatments, the control P0 shows higher values than the mulch treatments (P1, P2), ΔT daily trends were almost superimposable in P1 and P2; even though, the ANOVA showed a minimally significant differences between these treatments, while a significant difference was present between P0 and P2. These values are in line with the values reported by Ibarra-Jiménez et al., (2011), Mendonça et al., (2021): it seems clear that both plastic films are able to retain and diffuse the shortwave radiation more than bare soil. Moreover, the wave trend, with alternating positive and negative peaks, suggests an effect of SWC (see Fig. 4). Indeed, the positive peaks show higher air temperature than soil temperature while the negative peaks show higher soil temperature than air temperature. The trends in positive peaks are due to more water content (SWC) in the soil, as shown in Fig. 4, and consequently lower soil temperature.

Mean SWC under film mulching is greater than the SWC of P0 (see Fig. 4), with the P1 treatment more stable than the P2. The effect of irrigation (black bars) and precipitation (green bars) is clearly shown by the increasing in SWC soon after each water supply. Mulching films retain more water by an average of about +4% than soils without mulch.

In fact, under soils with mulch films moisture variation are less compared to bare soils (Ramakrishna et al. 2006).

In all three treatments the soil water content trend was above the wilting point (WP), although to a lesser extent in P0, and below the field water capacity (FC) ensuring a balanced water supply in the soil.

According to Snyder et al. (2015), mulching films have demonstrated the ability to insulate soil from extremes of both temperature and moisture, protecting against high temperatures, overwatering, and drought.

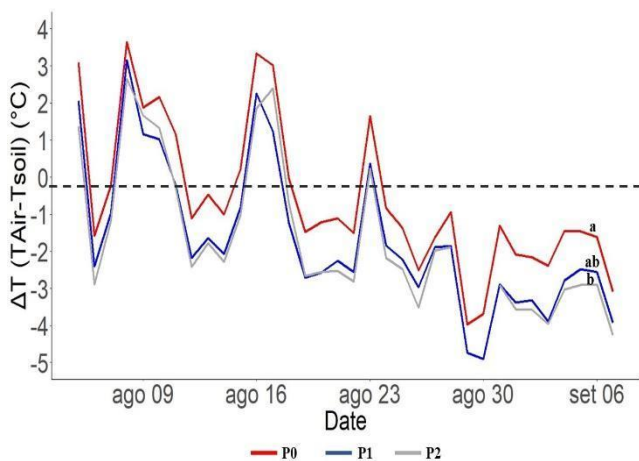


Fig.3 Differenza tra la temperatura dell'aria e la temperatura del suolo (ΔT) nei tre trattamenti, P0 (controllo-in rosso), P1 (Black White-in blu), P2 (Black Silver-in grigio). Lettere diverse (a-c) indicano una differenza significativa (p -value $< 0,001$.)

Fig.3 Difference between air temperature and soil temperature (ΔT), P0 (control-in red), P1 (Black White-in blue), P2 (Black Silver-in gray). Different letters (a-c) indicate a significant difference (p -value < 0.001).

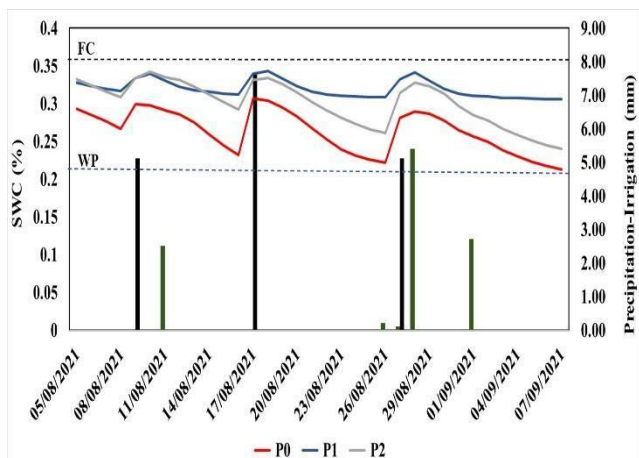


Fig.4 Contenuto d'acqua nel suolo nei tre trattamenti, P0 (controllo-in rosso), P1 (Black White-in blu), P2 (Black Silver-in grigio) ed apporti idrici, l'irrigazione (barre nere), le precipitazioni (barre verdi). Capacità di campo (FC), punto di appassimento (WP).

Fig.4 Soil water content (SWC) in the three treatments, P0 (control-in red), P1 (Black White-in blue), P2 (Black Silver-in gray) and water supply, irrigation (black bars), precipitation (green bars). Field capacity (FC), wilting point (WP).

Figure 5 reports the growths measured by fruit gauges on peach fruits in the different treatments. Treatments P1 and P2 showed larger fruits than P0 by +16.14% and +16.07%, respectively.

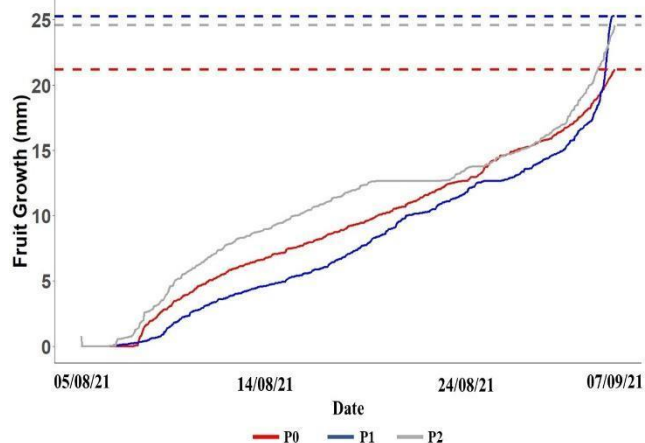


Fig.5 Crescita dei frutti nei tre trattamenti, P0 (controllo-in rosso), P1 (Black White-in blu), P2 (Black Silver-in grigio), misurata con misuratori di diametro dei frutti in continuo.

Fig.5 Fruit growth in the three treatments, P0 (control-in red), P1 (Black White-in blue), P2 (Black Silver-in gray), measured with continuous fruit diameter gauges.

The figure also shows that the evolution in time of fruit diameters followed different paths; in fact, in the first 15 days, P2 fruits grew much more rapidly than P1 fruits, P0 fruits had an intermediate behaviour between P1 and P2. On the 20th day after the beginning of the measurements the three treatments showed the minimum difference, afterword the P2 fruits grew more rapidly than P1 fruits reaching the same values at the end of the monitoring period. This variability in the growth is well illustrated from the boxplot in Figure 6, where it is clear that the greatest dispersion range was measured in P1, in which the maximum growth value of 25 mm was recorded in the period between 05/08/21 and 07/09/21

According to Zhang et al. (2021) black mulch films generally increase the productivity, soil temperature and soil moisture of perennial crops, including peaches. The greatest increases in soil temperature, soil moisture and fruit growth were recorded in the treatment with P1 white/black film as also reported in Ruíz-Machuca et al. (2015) which showed that among different mulching films the white/black recorded the highest values (fruit growth, soil temperature and soil moisture), recording a minimal difference of the same values in the treatment with black/silver mulching film.

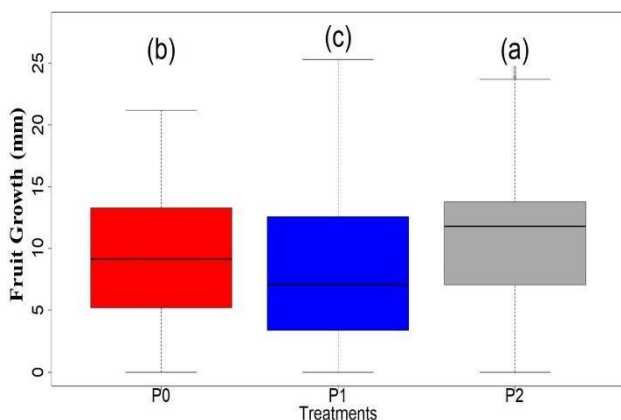


Fig. 6 Boxplot con i range di crescita dei frutti nei tre trattamenti, P0 (controllo-in rosso), P1 (Black White-in blu), P2 (Black Silver-in grigio) dal 05/08/21 al 07/09/21, misurati con misuratori di diametro dei frutti in continuo.

Lettere diverse (a-c) indicano una differenza significativa (p -value $<0,001$)

Fig.6 Boxplot with fruit growth ranges in the three treatments, P0 (control-in red), P1 (Black White-in blue), P2 (Black Silver-in gray) from 05/08/21 to 07/09/21, measured with continuous fruit diameter gauges. Different letters (a-c) indicate a significant difference (p value <0.001)

Conclusions

In the last phase of peach fruit growth (III Phenological Phase), the use of black/white and black/silver mulching films resulted in an increase in fruit growth, correlated with higher soil temperature and water content. Although the reference period is quite short, through the continuous measurement of fruits with fruit gauges diameter, the positive effects of mulching films on fruits were measured quickly and accurately, showing daily the fruit growth during the whole period considered. Due to the shown complexity of the relationships among soil environment, fruit growth and covering, the presented results seem to be preliminary and merit further investigation. On the base of these results, the next production seasons, through the continuous monitoring of the fruits diameters, as well as the soil temperature and the moisture along the main peach fruit development phases, will be used to monitor the effects of water content on peach fruits to individuate and plan the actions for promptly intervene in case of water stress conditions of the plants.

Acknowledgments

This study was financially supported by the PON-Water4AgriFood (PNR 2015 – 2020, Area Agrifood; progetto ARS01_00825 approvato con DD n. 1619 del 9 agosto 2019): Miglioramento delle produzioni agroalimentari mediterranee in condizioni di carenza di risorse idriche.

References

Thompson R. B., Gallardo M., Valdez L. C., Fernández, M. D., 2007. Determination of lower limits for irrigation management using in situ assessments of apparent crop

- water uptake made with volumetric soil water content sensors. *Agricultural water management*, 92(1-2), 13-28.
- Boini A., Manfrini L., Bortolotti G., Corelli-Grappadelli L., Morandi B., 2019. Monitoring fruit daily growth indicates the onset of mild drought stress in apple. *Scientia Horticulturae*, 256, 108520.
- Campi P., Gaeta L., Mastrorilli M., Losciale P., 2020. Innovative soil management and micro-climate modulation for saving water in peach orchards. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1052.
- Campi P., Mastrorilli M., Stellacci A. M., Modugno F., Palumbo A. D., 2019. Increasing the effective use of water in green asparagus through deficit irrigation strategies. *Agricultural Water Management*, 217, 119-130.
- Fares A., Alva A. K., 2000. Soil water components based on capacitance probes in a sandy soil. *Soil Science Society of America Journal*, 64(1), 311-318.
- Fregon J. L., 2002. Best management practices for irrigating peach trees. New Jersey Agricultural Experiment Station. USDA. New Brunswick, NJ USA. *Frontiers in Plant Science*, 11, 46.
- Ibarra-Jiménez L., Lira-Saldivar R. H., Valdez-Aguilar L. A., Lozano-Del Río J., 2011. Colored plastic mulches affect soil temperature and tuber production of potato. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 61(4), 365-371.
- Jiménez S., Fattahi M., Bedis K., Nasrolahpour-Moghadam S., Irigoyen J. J., Gogorcena Y., 2020. Interactional effects of climate change factors on the water status, photosynthetic rate, and metabolic regulation in peach. *Frontiers in plant science*, 11, 43.
- Lozano-Parra J., Pulido M., Lozano-Fondón C., Schnabel S., 2018. How do soil moisture and vegetation covers influence soil temperature in drylands of Mediterranean regions? *Water*, 10, 1747.
- Mendonça S. R., Ávila M. C. R. Vital R. G., Evangelista Z. R., de Carvalho Pontes N., dos Reis Nascimento A., 2021. The effect of different mulching on tomato development and yield. *Scientia Horticulturae*, 275, 109657.
- Miller G.A., Farahani H.J., Hassell R.L., Khalilian A., Adelberg J. W., Wells C. E., 2014. Field evaluation and performance of capacitance probes for automated drip irrigation of watermelons. *Agricultural water management*, 131, 124-134.
- Morandi B., & Corelli Grappadelli, L., 2009. Source and sink limitations in vascular flows in peach fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 84(6), 150-156.
- Morandi B., Manfrini L., Zibordi M., Noferini M., Fiori G., Grappadelli L. C., 2007. A low-cost device for accurate and continuous measurements of fruit diameter. *HortScience*, 42(6), 1380-1382.
- Ramakrishna A., Tam H. M., Wani S. P., Long T. D., 2006. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field crops research*, 95(2-3), 115-125.
- Ruíz-Machuca L. M., Ibarra-Jiménez L., Valdez-Aguilar L. A., Robledo-Torres V., Benavides-Mendoza A., Cabrera-

- De La Fuente M., 2015. Cultivation of potato—use of plastic mulch and row covers on soil temperature, growth, nutrient status, and yield. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 65(1), 30-35.
- Sharma R., Bhardwaj S., 2017. Effect of mulching on soil and water conservation-A review. *Agricultural Reviews*, 38(4).
- Snyder K., Grant A., Murray C., Wolff, B., 2015. The effects of plastic mulch systems on soil temperature and moisture in central Ontario. *HortTechnology*, 25(2), 162-170.
- Suo G. D., Xie Y. S., Zhang Y., Luo H., 2019. Long-term effects of different surface mulching techniques on soil water and fruit yield in an apple orchard on the Loess Plateau of China. *Scientia Horticulturae*, 246, 643-651.
- Wang H., Wang C., Zhao X., Wang F., 2015. Mulching increases water-use efficiency of peach production on the rainfed semiarid Loess Plateau of China. *Agric. Wat. Manage.*, 154, 20-28.
- Zhang H., Miles C., Gerdeman B., LaHue D. G., DeVetter L., 2021. Plastic mulch use in perennial fruit cropping systems—A review. *Scientia Horticulturae*, 281, 109975.

VERIFICA DELLE PARAMETRIZZAZIONI LEGATE ALLE SOMME TERMICHE PER LE PRIME FASI FENOLOGICHE DELLA VITIS VINIFERA CV. BARBERA IN DUE SITI PIEMONTESI E VALUTAZIONE DELLA DIPENDENZA DALLA TIPOLOGIA DI DATI

CHECK OF THE THERMAL SUM PARAMETERIZATIONS FOR THE EARLIER PHENOLOGICAL PHASES OF VITIS VINIFERA CV. BARBERA IN TWO PIEDMONTESE SITES AND EVALUATION OF THE DEPENDENCE ON THE TYPE OF DATA

Claudio Cassardo*, Valentina Andreoli, Lara Chiaberge, Mario Gallarate, Alice Pregnolato

Dipartimento di Fisica e Centro NatRisk, Università di Torino, Italia
* claudio.cassardo@unito.it

Abstract

Some phenological phases (exit from dormancy, budding, flowering, and in part fruit set) depend very strongly on the air temperature in the proximity of the vineyard and are usually parameterized with daily or hourly thermal sums. The parameterizations used by the IVINE numerical model (Italian Vineyard Integrated Numerical Model for Estimating Physiological Values) were evaluated offline in order to reconstruct the aforementioned phases using the thermal data measured at two sites in which experimental measurements of some phases had been carried out. Three types of data were used as thermal values: those extracted from the nearest grid point from the GLDAS database, and the ARPA Piemonte and RAM (agrometeorological) network measurements closest to the vineyards. The main results will be discussed.

Parole chiave

Modelli di crescita, fenologia, fisiologia, vigne, sorgenti di dati

Keywords

Crop modeling, phenology, physiology, vineyards, data sources

Introduzione

Lo studio in questo articolo si combina con lo studio di Cassardo et al. (2022), presentato in questa stessa rivista. L'ambito quindi è quello dei modelli di crescita, che hanno l'obiettivo di simulare gli scenari delle fasi di sviluppo delle piante, e si propongono quindi come un ausilio per i produttori per quanto riguarda la gestione delle colture, ed eventualmente anche la pianificazione. In questo lavoro la pianta produttiva studiata è la vite, e più specificamente la cultivar Barbera della Vitis Vinifera, una delle più diffuse sul territorio piemontese. Il modello di riferimento è ancora il modello di crescita della vite denominato IVINE (Italian Vineyard Integrated Numerical Model for Estimating Physiological Values), sviluppato presso il nostro Dipartimento (Andreoli et al., 2019), che può simulare l'andamento giornaliero di un'ampia gamma di parametri fenologici e fisiologici dei vigneti utilizzando equazioni fisiche (es. fotosintesi, zucchero, bilancio idrico) e relazioni empiriche (es. fasi fenologiche), in modo da poterne ampliare l'area di applicazione a gran parte del territorio vitato dell'Italia centro-settentrionale. L'obiettivo dello studio è duplice. Da una parte, la validazione delle parametrizzazioni presenti nel modello IVINE per quanto riguarda le fasi fenologiche che dipendono essenzialmente dalla temperatura attraverso le somme termiche, orarie o giornaliere (che sono: il germogliamento, la fioritura, l'invaiaatura e, al termine della stagione, l'uscita dalla dormienza). Dall'altra, si è voluto verificare quanto la

tipologia di dato usato influisce sulla previsione delle fasi fenologiche.

Sono stati quindi selezionati due siti sperimentali in Piemonte, in cui erano disponibili delle osservazioni sperimentali delle suddette fasi fenologiche. Come sorgenti di dati per le parametrizzazioni delle fasi fenologiche sono stati usati tre tipi di dati. La scelta iniziale è stata il database climatologico internazionale GLDAS (descritto in seguito) nei punti griglia più vicini alle due stazioni. Inoltre, sono stati usati dei dati di temperatura dell'aria misurati in stazioni meteorologiche limitrofe ai siti sperimentali.

Questo studio quindi non ha richiesto il diretto utilizzo del modello IVINE, ma ne ha testato con procedure esterne le parametrizzazioni delle quattro fasi fenologiche dipendenti unicamente dalla variabile temperatura.

Materiali e Metodi

a. Il database GLDAS

Il database internazionale usato è stato il Global Land Data Assimilation System (GLDAS) (Rodell et al., 2004), che è un database globale di valori provenienti dall'assimilazione di misure sperimentali al suolo e da satellite e uscite di modelli meteorologici globali e regionali, ed è stato ampiamente descritto in Cassardo et al. (2022), a cui si rimanda per i dettagli. Per questo lavoro sono stati selezionati i dati di temperatura dell'aria relativi ai due punti griglia più prossimi ai due vigneti sperimentali considerati.

b. Il modello IVINE

Anche il modello IVINE è descritto specificamente in Cassardo et al. (2022), per cui si riportano qui soltanto le formule principali relative alle fasi fenologiche studiate. In particolare, IVINE simula le fasi fenologiche delle viti a partire da soglie termiche definite per ogni varietà. Quando la somma termica raggiunge la soglia termica selezionata per la fase in analisi, il modello segnala il verificarsi di tale fase e inizia il calcolo per la fase successiva. La prima fase è l'uscita dalla dormienza, a cui seguono il germogliamento, la fioritura, l'allegagione, l'inizio della maturazione, l'invaiaura e infine la raccolta. A questo punto il modello si resetta e riparte dal calcolo dell'uscita dalla dormienza per l'anno successivo.

IVINE inizia il calcolo delle *chilling units* (CU) relative all'ingresso della pianta in dormienza il 1° agosto. L'uscita dalla dormienza si verifica nel momento in cui IVINE raggiunge la soglia termica di 100 CU (Garcia de Cortazar Atauri, 2009). La formula usata è:

$$Cu_n = Q \frac{-T_x(n)}{10} + Q \frac{-T_n(n)}{10}$$

in cui T_x e T_n sono la temperatura massima e minima giornaliera, $Q=2.7$ (Garcia de Cortazar Atauri, 2009), mentre n indica il giorno. Per la fase successiva del germogliamento si sommano le temperature orarie a partire dal raggiungimento della fase precedente, valutando le *Growing Degree Hours* (GDH) (Richardson et al., 1974; Richardson et al., 1975; Garcia de Cortazar Atauri, 2009) fino al raggiungimento della soglia GDH impostata per la varietà. Il calcolo di GDH è dato da $GDH = \sum T_r(h,n)$ dove i valori $T_r(h,n)$ sono calcolati nel modo seguente:

$$T_r(r,n) = \begin{cases} 0 & T(h,n) - T_{0BC} < T_{MBC} - T_{0BC} \\ & \text{se } \{T(h,n) < T_{0BC} \text{ o } T_{0BC} \leq T(h,n) \leq T_{MBC}\} \\ & T(h,n) - T_{MBC} & T(h,n) > T_{MBC} \end{cases}$$

a partire dalle temperature all'ora h del giorno n , e dove $T_{0BC} = 5^\circ\text{C}$ e $T_{MBC} = 25^\circ\text{C}$ (Andreoli et al., 2019). Raggiunta la fase del germogliamento, si sommano i *Growing Degree Days* (GDD) fino al raggiungimento della relativa soglia termica per la varietà considerata. I GDD sono valutati come $GDD = \sum [T_{av}(n) - T_{base}(n)]$ dove T_{av} è la temperatura media giornaliera del giorno n e $T_{base} = 10^\circ\text{C}$ (Andreoli et al., 2019). Un calcolo analogo, ma con una soglia diversa, viene effettuato per l'allegagione.

c. I dati sperimentali

Le stazioni sperimentali in cui sono state condotte le osservazioni sperimentali sono due: Vezzolano (in provincia di Asti) e Carpeneto (in provincia di Alessandria).

La stazione nel vigneto di Vezzolano è uno dei punti di riferimento nazionali, per quanto riguarda l'Istituto di Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibili del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR_STEMS), sede di Torino, per l'utilizzazione agronomica e la conservazione delle zone con declivio. Di tale stazione ci sono stati forniti i dati relativi al raggiungimento delle fasi fenologiche principali.

Il vigneto di Carpeneto è uno dei quattro siti gestiti dalla Fondazione per la ricerca, l'innovazione e lo sviluppo tecnologico dell'agricoltura piemontese (Agrion), nata nel 2014 per volontà di Regione Piemonte e Unioncamere Piemonte con il compito di interpretare i bisogni delle diverse filiere produttive e fare ricerca al loro servizio. Lo scopo di tale Fondazione è il rafforzamento del sistema di ricerca e innovazione tecnologica nel settore agricolo e agroalimentare. I dati a nostra disposizione si riferiscono alle annate dal 2004 al 2014 e riguardano le seguenti fasi fenologiche: germogliamento, fioritura, invaiatura e raccolto.

Delle fasi disponibili, non sono state considerate, in questo studio, quelle parametrizzate con variabili diverse dalla temperatura (per es. l'invaiaura e il raccolto).

d. Gli altri dati

In Piemonte di sono due reti meteorologiche pubbliche distinte: quella di ARPA Piemonte, a cui fanno capo oltre 400 stazioni meteo-idrologiche, e la rete agrometeorologica (RAM), a cui fanno capo diverse decine di stazioni, solitamente dislocate nelle zone non coperte dalla rete precedente.

Ai fini di questo studio, sono state selezionate le due stazioni (una per ciascuna rete) con termometro collocate il più vicino possibile ai siti di misura, in modo da usarne i dati di ingresso per le parametrizzazioni (Figura 1).

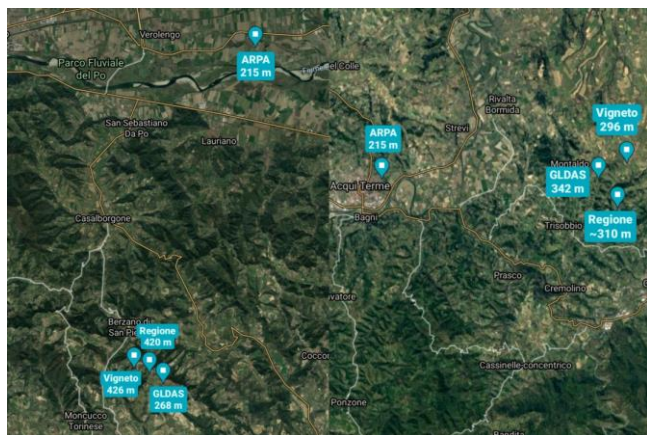


Fig. 1: Localizzazione delle stazioni usate nello studio: a sinistra per Vezzolano, a destra per Carpeneto. Qui vigneto è il sito sperimentale, mentre Regione indica la stazione della rete RAM.

Fig. 1: Localization of the stations used in the study: at the left there is Vezzolano, at the right Carpeneto. Here "vigneto" indicates the experimental site, and "Regione" indicates the RAM network station.

Nel caso di Vezzolano, la stazione ARPA prescelta è stata quella di Verolengo, mentre la stazione RAM selezionata è stata quella di Albugnano, molto più vicina al punto sperimentale e anche al punto griglia di GLDAS. Anche per quanto riguarda Carpeneto, la stazione ARPA prescelta è stata Acqui Terme, che è risultata la più lontana, mentre quella della rete RAM è stata Carpeneto, più vicina sia al punto griglia di GLDAS che al punto sperimentale (Figura 1

e Tabella 1 per le coordinate). Guardando la tabella 1, si possono notare alcune particolarità. Rispetto al sito di misura di Vezzolano, la stazione ARPA dista circa 12 km in linea d'aria e presenta un dislivello di oltre 250 m, mentre la stazione RAM è limitrofa ed alla stessa altitudine. Anche rispetto al sito di misura di Carpeneto, la stazione ARPA è la più distante (circa 11 km) e quella col maggiore dislivello (81 m). In linea di principio, pertanto, ci si potrebbe attendere che le simulazioni basate sui dati misurati a maggiore distanza ed a quote maggiormente differenti potrebbero portare ad errori maggiori. D'altra parte, GLDAS ha assemblato il suo database sulla base di un mix di osservazioni anche da satellite e risultati di simulazioni numeriche eseguite anche con modelli a scala globale, e quindi potrebbero portare a valori termici meno accurati.

Tab. 1: coordinate dei siti sperimentali, delle stazioni e dei punti griglia GLDAS (Alt indica l'altitudine, in m s.l.m.).

Tab. 1: coordinates of the experimental sites, stations and GLDAS grid points ("Alt" indicates the altitude, in m a.s.l.).

Sito	Tipo dati	Lat (°N)	Lon (°E)	Alt. (m s.l.m.)
Vezzolano	Vigneto	45° 4'	7° 57'	426
	ARPA	45° 11' 6"	8° 0' 39"	163
	GLDAS	45,125°	7,875°	268
	RAM	45,0819°	7,9608°	420
Carpeneto	Vigneto	44° 40'	8° 37'	296
	ARPA	44° 40' 43"	8° 28' 47"	215
	GLDAS	44,625°	8,625°	342
	RAM	44,6819°	8,6236°	330

Tab. 2: soglie termiche corrispondenti alle varie fasi fenologiche (uscita dalla dormienza, germogliamento, fioritura e allegazione). CU=chilling units; GDH=Growing Degree Hours, GDD=Growing Degree Days.

Tab. 2: thermal thresholds corresponding to the various phenological phases (exit from dormancy, bud burst, flowering and fruit set). CU = chilling units; GDH = Growing Degree Hours, GDD = Growing Degree Days.

Fasi	Soglie termiche	
	Vezzolano	Carpeneto
Uscita dalla dormienza	100 CU	100 CU
Germogliamento	6500 GDH	5300 GDH
Fioritura	340 GDD	250 GDD
Allegazione	50 GDD	40 GDD

In tabella 2 sono riportate le soglie termiche per il calcolo delle fasi fenologiche dipendenti soltanto dalla temperatura dell'aria, che sono state ottenute a seguito di una procedura di calibrazione per la cultivar Barbera effettuata durante studi precedenti (Traversa, 2021). Malgrado la cultivar sia la medesima in entrambi i siti, le diverse condizioni di terroir e il fatto che si tratti di due cloni differenti è la spiegazione al

momento più plausibile per le differenze riscontrate tra i due siti.

Risultati, Discussione e Conclusioni

Le formule di parametrizzazione delle fasi fenologiche sono state applicate in modo indipendente variando le tre diverse tipologie di dati in ingresso (dati ARPA, dati RAM e database GLDAS). Il confronto è stato possibile soltanto per le due fasi del germogliamento e della fioritura, per le quali ci sono stati forniti i dati osservativi.

A proposito delle osservazioni, occorre tenere presente che le visite sperimentali nei siti di misura non sono state effettuate giornalmente, ma 1-2 volte alla settimana, per cui al dato misurato va associato un errore medio di qualche giorno (talora anche di una settimana), in quanto la fase corrispondente potrebbe essersi verificata prima della visita in campo, ma è stata poi associata al giorno della visita.

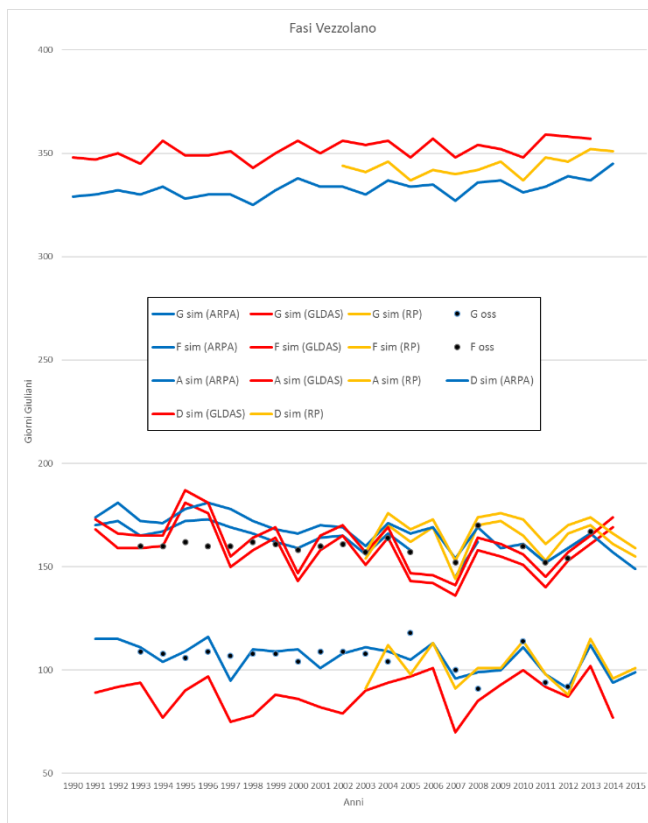


Fig. 2: andamenti delle fasi fenologiche germogliamento (G), fioritura (F), allegazione (A) e uscita dalla dormienza (D) simulate usando le temperature della stazione ARPA, del database GLDAS, della stazione RAM (RP) a paragone con il dato osservato, ove presente (i puntini neri), per quanto riguarda il sito di Vezzolano.

Fig. 2: trends of the phenological phases bud burst (G), flowering (F), fruit set (A) and exit from dormancy (D) simulated using the temperatures of the ARPA station, of the GLDAS database, of the RAM station (RP) in comparison with the observed data, if any (the black dots), concerning the Vezzolano site.

A Vezzolano (Figura 2 e Tabella 3), i dati osservati erano disponibili dal 1993 al 2013. Per quanto riguarda l'uscita dalla dormienza, pur nella mancanza di dati osservativi, si nota come ci sia una differenza significativa tra le fasi simulate con le diverse tipologie di dati. Infatti, le simulazioni basate sui dati ARPA sono in netto anticipo rispetto alle altre due, mentre quelle basate sul database GLDAS sono di circa un mese in ritardo rispetto a quelle ARPA, e quelle basate sui dati RAM si collocano più o meno in mezzo. Dal momento che la stazione ARPA è quella con la quota inferiore, si può ipotizzare che l'effetto dell'inversione termica abbia contribuito a far accumulare più in fretta le chilling units necessarie per il raggiungimento di questa fase.

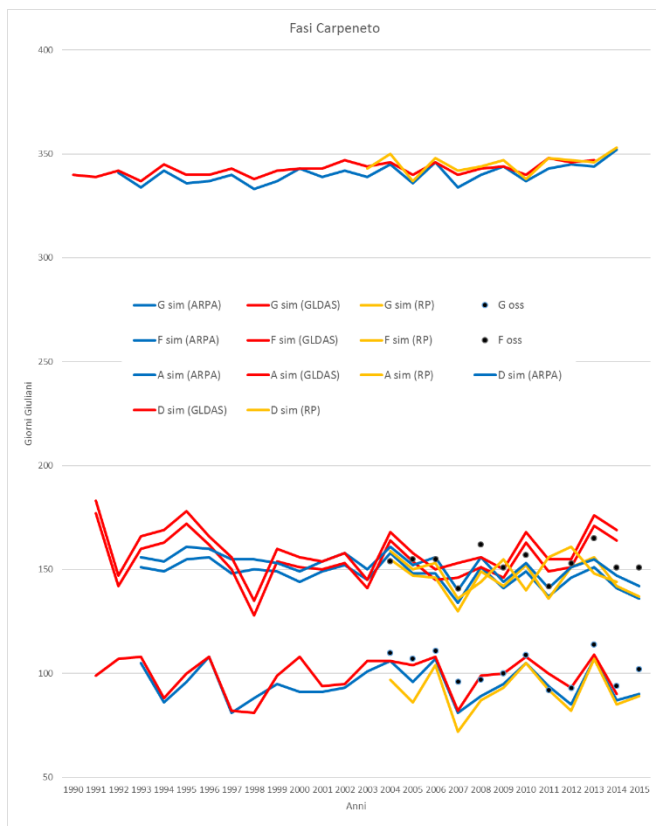


Fig. 3: come la figura 2 ma in relazione al sito di Carpeneto.
Fig. 3: as figure 2, but in relation to the Carpeneto site.

Per quanto riguarda il germogliamento, i dati simulati con i valori ARPA sono, in media, più corrispondenti degli altri ai dati osservati, pur possedendo una maggiore variabilità interannuale rispetto agli osservati, e pur presentando una evidente sovrastima nella prima parte del periodo studiato. Le simulazioni basate su GLDAS mostrano, in media, una forte sottostima, e in generale sono molto oscillanti nel tempo rispetto alle misure in loco. Le simulazioni basate sui dati della stazione RAM, infine, sono generalmente in ritardo di fase, soprattutto negli ultimi sei anni. Anche guardando i valori del coefficiente di correlazione si nota come le simulazioni basate sui dati ARPA siano le più correlate e quelle basate sui dati GLDAS, al contrario, mostrino valori del coefficiente di correlazione scarsamente significativi.

Per quanto riguarda la fase della fioritura, invece, le differenze tra i valori simulati e le osservazioni sono minori, soprattutto per quanto riguarda la simulazione basata su GLDAS, che tuttavia rimane quella con gli indici statistici peggiori (maggiori scarti e RMSE, e minore coefficiente di correlazione). In particolare, si nota come la simulazione su base GLDAS mostri significative sovrastime e/o sottostime in determinati anni (es. 1995, 1996, 2000, 2005 e 2007), a differenza delle altre simulazioni, mentre la simulazione su base ARPA mostra gli indici statistici migliori pur in presenza di sovrastime nella parte iniziale del periodo.

Tab. 3: principali valori statistici relativi al confronto tra fasi fenologiche simulate e osservate nel sito sperimentale di Vezzolano; scarto indica il valore medio delle differenze simulato meno osservato, RMSE è l'errore quadratico medio e R il coefficiente di correlazione.

Tab. 3: main statistical values related to the comparison between simulated and observed phenological phases in the Vezzolano experimental site; "scarto" indicates the mean value of the difference between simulated and observed value, RMSE is the root mean square error, and R the correlation coefficient.

Fase	Germogliamento			Fioritura		
Param.	ARPA	GLDAS	RAM	ARPA	GLDAS	RAM
Scarto	-0.3	-18.7	-3.5	2.6	-3.5	2.3
RMSE	4.9	17.4	6.1	4.9	8.5	3.5
R	0.6	0.2	0.4	0.6	0.6	0.8

La fase dell'allegazione è stata riportata per completezza, anche in assenza di misure sperimentali, e segue abbastanza da vicino gli andamenti relativi alla fase della fioritura, con un ritardo di fase di alcuni giorni rispetto a quest'ultima per tutte le simulazioni.

A Carpeneto (Figura 3, Tabella 4) i dati erano disponibili su un periodo più ristretto e recente, ovvero dal 2004 al 2014. Anche in questo caso conviene partire dalla fase dell'uscita dalla dormienza, che è il primo step che poi fa passare al calcolo delle fasi successive, anche se non vi sono riscontri sperimentali (tale fase non è osservabile a vista e richiederebbe misure complesse). A differenza di quanto visto a Vezzolano per questa fase, a Carpeneto le differenze tra le diverse tipologie di dati sono più contenute, in media di circa un giorno, con le simulazioni basate sui dati ARPA in leggero anticipo rispetto alle altre. Dato il minore dislivello tra la stazione ARPA e il sito sperimentale rispetto a Vezzolano, questo parrebbe giustificare l'andamento osservato.

Per quanto riguarda la fase del germogliamento, tutte le simulazioni sono in ritardo rispetto ai dati osservati. Lo scarto inferiore, così come il minore RMSE, spetta alle simulazioni basate su GLDAS, mentre quelle basate sui dati RAM mostrano i valori peggiori e quelle su base ARPA valori intermedi, in entrambi i casi derivanti da fasi precoci previste troppo in anticipo. Tutte e tre le simulazioni

possiedono peraltro una buona correlazione con le osservazioni, con differenze minime.

Tab. 4: come la tabella 3 ma in relazione al sito di Carpeneto.

Tab. 4: as table 3, but in relation to the Carpeneto site.

Fase	Germogliamento			Fioritura		
	ARPA	GLDAS	RAM	ARPA	GLDAS	RAM
Scarto	-6.9	-2.2	-10.5	-8.1	1.6	-7.8
RMSE	5.5	3.6	8.4	6.3	5.1	6.0
R	0.9	0.8	0.8	0.8	0.5	0.8

Per quanto riguarda la fioritura, il discorso è simile. Le simulazioni basate su GLDAS mostrano i valori migliori, pur se con correlazione mediocre, mentre quelle basate su dati RAM o ARPA hanno scarti e RMSE più elevati, ma una correlazione migliore.

Nel caso di Carpeneto, quindi, le simulazioni basate sui dati GLDAS paiono essere rappresentative delle condizioni del vigneto sperimentale, anche se, guardando la parte iniziale del periodo di simulazione, quando purtroppo mancano i dati osservativi, certi valori molto tardivi osservati in alcuni anni appaiono poco credibili. In particolare, si evidenzia come le simulazioni basate su GLDAS mostrino frequentemente forti sovrastime (per la fioritura) e/o sottostime (per il germogliamento) rispetto alle altre simulazioni.

In definitiva, queste analisi evidenziano chiaramente come la scelta dei valori di temperatura da usare per la parametrizzazione delle fasi fenologiche della vite rivesta un ruolo molto importante sulla qualità delle simulazioni. In questo senso, la distanza tra la stazione meteorologica e il sito sperimentale, sia in termini di distanza orizzontale sia in termini di dislivello, non pare essere un elemento determinante, visto che le stazioni ARPA sono sempre quelle orizzontalmente più distanti dal sito sperimentale, e nel caso di Vezzolano la stazione ARPA usata è anche quella che presenta il dislivello maggiore. Infatti, proprio a Vezzolano le simulazioni basate sui dati ARPA sono quelle con i migliori indici statistici, mentre a Carpeneto sono le peggiori.

Le simulazioni basate sui dati GLDAS non mostrano sempre le prestazioni peggiori, almeno in termini di scarto e RMSE, ma a volte appaiono poco correlate con le misure sperimentali, soprattutto perché sono spesso associati a forti sovrastime o sottostime, soprattutto negli anni che si discostano dall'andamento medio. È quindi probabile che,

più che la distanza, abbiano un ruolo fondamentale la localizzazione e la posizione della stazione rispetto al sito sperimentale. Sotto questo aspetto, probabilmente la fonte di dati migliore sarebbe costituita dalle osservazioni effettuate direttamente nel sito sperimentale, che esistono ma sono discontinue ed avrebbero bisogno di un lungo lavoro di ricostruzione.

Ai fini dell'utilizzo del modello IVINE, o di altri crop model simili, probabilmente è pensabile che possa essere utilizzato un dataset del tipo di GLDAS, ma con correzioni delle misure usando, ove disponibili, le misure effettuate in prossimità o all'interno del sito sperimentale.

Bibliografia

- Andreoli V.; Cassardo C.; La Iacona T.; Spanna F., 2019. Description and Preliminary Simulations with the Italian Vineyard Integrated Numerical Model for Estimating Physiological Values (IVINE). *Agronomy*, 9, 94, 21 pp.
- Cassardo C.; Andreoli V.; Traversa M., 2022. Validazione della fenologia della Vitis Vinifera con il modello di crescita IVINE, calibrato su vari vitigni italiani. *Italian J. of Agrometeorology*, in press.
- Garcia de Cortazar Aauri I., Brisson N., Gaudillere J.P., 2009. Performance of several models for predicting budburst date of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Int. J. Biometeorol.*, 53, 317–326.
- Richardson E.A., Seeley S.D., Walker R.D., 1974. A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. *Hort. Science*, 9, 331–332.
- Richardson E.A., Seeley S.D., Walker R.D., Ashcroft G., 1975. Pheno-climatology of spring peach bud development. *HortScience*, 10, 236–237.
- Rodell M., Houser P. R., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.-J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J. K., Walker J. P., Lohmann D., Toll D., 2004. The Global Land Data Assimilation System. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 85, 381–394.
- Traversa M., 2021. Validazione dei processi fenolo-fisiologici della vite parametrizzati dal modello di sviluppo IVINE calibrato su vari vitigni italiani. Tesi magistrale di laurea in fisica, Dipartimento di Fisica, Università di Torino, A.A. 2020-21, richiedibile attraverso il *corresponding author*.

Ringraziamenti

Si ringraziano la dott.ssa Marcella Biddoccu, del CNR-STEM sede di Torino, e la dott.ssa Elisa Paravidino, della Fondazione Agrion, per aver messo a nostra disposizione i dati delle misure sperimentali nei siti, rispettivamente, di Vezzolano e di Carpeneto, utilizzati in questa tesi.

VARIAZIONE DELLA COMPOSIZIONE ANTOCIANICA DI QUATTRO CULTIVAR DI MIRTILLO GIGANTE AMERICANO IN RISPOSTA ALLE CONDIZIONI AMBIENTALI – PRIME EVIDENZE (*Vaccinium corymbosum* L.)

VARIATION OF ANTOCYANIN COMPOSITION OF FOUR BLUEBERRIES CULTIVARS IN RESPONSE TO ENVIRONMENTAL CONDITIONS - FIRST EVIDENCES

Beatrice Cavenago, Gabriele Cola*, Andrea Cariboni, Anna Spinardi

Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

* gabriele.cola@unimi.it

Abstract

Most of the valuable nutritional characteristics of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit are related to polyphenols and more specifically to anthocyanins, pigments responsible of the blue-violet color of the berries. In order to understand the relationship between anthocyanins content and environmental conditions, fully ripened berries of the four cultivars (cv) ‘Duke’, ‘O’Neal’, ‘Berkeley’ and ‘Chandler’ have been sampled at two different timing. The absolute content and the relative composition of individual anthocyanins have been analyzed together with the quantification of the environmental resources and limitation in the ten-day period before sampling. First results are here presented.

Parole chiave:

mirtillo gigante americano, maturazione, data di raccolta, antocianine, polifenoli, profilo antocianico

Keywords:

blueberry, ripening, harvest date, anthocyanins, polyphenols, anthocyanin profile

Introduzione

Il mirtillo gigante americano (*Vaccinium corymbosum* L.) è una coltura di grande interesse in quanto le bacche possiedono caratteristiche nutrizionali di notevole pregio. Queste qualità sono dovute soprattutto ai polifenoli, in particolare alla sottoclasse degli antociani, pigmenti che conferiscono il colore blu-viola alle bacche, particolarmente interessanti per la dieta umana in quanto associati alla prevenzione di diverse malattie degenerative (Norberto et al., 2013). Il background genetico della specie/varietà determina in primo luogo il contenuto di antociani nei frutti, ma i fattori ambientali possono influenzarne in maniera significativa la concentrazione e composizione, regolando la biosintesi e l’accumulo di metaboliti primari e secondari nel frutto.

L’obiettivo del seguente lavoro è valutare quali sono gli effetti che l’ambiente provoca sul profilo antocianico del mirtillo gigante americano.

Materiali e Metodi

Le quattro varietà commerciali, ‘Berkeley’, ‘Chandler’, ‘Duke’ ed ‘O’Neal’ sono state coltivate presso l’Azienda Agraria Didattico-Sperimentale F. Dotti dell’Università degli Studi di Milano ad Arcagna, Montanaso Lombardo (LO). La coltivazione è avvenuta in mastelli da 70 litri contenenti terreno per colture acidofile. Le piante sono state mantenute in condizioni idriche ottimali mediante irrigazione manuale periodica.

Per ogni varietà, con cadenza settimanale si è proceduto alla verifica dello stadio di maturazione delle bacche, raccogliendo esclusivamente i frutti in piena maturazione, con pigmentazione violacea su tutto l’epicarpo, anche nella zona peduncolare (appartenenti alla quarta classe di

maturazione. In tal modo è stato possibile procedere per ogni varietà alla raccolta in due distinti momenti (tabella 1).

Al fine di valutare la relazione fra ambiente e accumulo di antociani sono stati incrociati i dati meteorologici della stazione meteorologica aziendale con le esigenze ambientali del mirtillo gigante americano, andando a conteggiare le risorse e le limitazioni ambientali per una finestra di dieci giorni precedente alla raccolta, al fine di caratterizzare i diversi periodi di maturazione delle bacche.

Tab. 1. Date di campionamento per le quattro varietà oggetto di analisi.

Tab. 1 – Sampling dates for the four cv analyzed.

Varietà	Prima raccolta	Seconda raccolta
Duke	11 giugno 2021	25 giugno 2021
O’Neal	11 giugno 2021	23 luglio 2021
Berkeley	18 giugno 2021	12 luglio 2021
Chandler	25 giugno 2021	23 luglio 2021

Sono state pertanto conteggiate l’accumulo di radiazione fotosinteticamente attiva [MJ/m²], le risorse termiche della coltura utilizzando i metodi delle Ore Normali di Caldo – NHH (Mariani et al., 2012) e dei Gradi Giorno – GDD. Per il calcolo delle NHH stati assunti i seguenti cardinali: cardinale minimo 7°C (Nesmith, 2012), cardinale massimo 32°C (Yang et al., 2019) e ottimali tra 20°C e 26°C (Gough, 1993). Per la stima dei GDD, come temperatura cardinale minima sono stati utilizzati due differenti valori: 0°C (White et al., 2012) e 7°C (Nesmith, 2012).

Inoltre, è stato valutato lo stress da alte temperature mediante il conteggio delle HHH (Mariani et al., 2012), parametrizzate in modo analogo alle NHH, ed il numero di giorni estivi con

temperatura massima superiore alle soglie di 32°C e 35°C (Yang et al., 2019).

Infine, è stato conteggiato il numero di giorni estivi in cui sono state registrate temperature minime comprese tra 14°C e 18°C, considerate favorevoli all'accumulo di antociani (Azuma et al., 2012).

Si è quindi proceduto ad una prima valutazione di tipo qualitativo fra l'accumulo di antociani e l'andamento delle risorse e delle limitazioni ambientali. L'identificazione e la quantificazione delle antocianine è stata eseguita mediante tecnica HPLC/MS e HPLC (Spinardi et al., 2019).

Risultati

Considerando la concentrazione delle antocianidine in termini assoluti, espresse come µg/gPF, (figura 1), nelle bacche di 'Duke' solo petunidine e malvidine aumentano nella seconda raccolta.

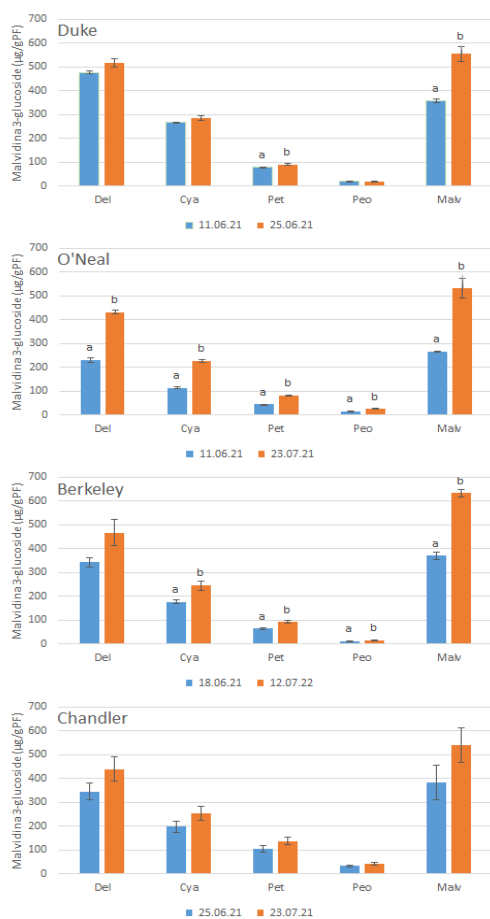


Fig. 1. Contenuto in antocianidine espresso in µg/gPF Malvidina 3-glucoside nelle bacche di 4 cv alle due date di raccolta (n=3), Barre d'errore rappresentano ± e.s. Lettere diverse indicano differenze significative tra date di raccolta ($P \leq 0.05$)

Fig. 1 – Antocyanin content as µg/gPF of Malvidin 3-glucoside in berries of 4 cv for each sampling date. Bars represent ± s.e.. Different letters indicate statistical differences between sampling dates ($P \leq 0.05$).

Le petunidine e le malvidine, assieme alle delphinidine, sono antocianidine trisostituite e rappresentano le forme più stabili, rispetto alle cianidine e peonidine, disostituite (Spinardi et al., 2019). In 'O'Neal', invece, tutte le forme antocianiche aumentano nella seconda raccolta, come si verifica anche in 'Berkeley', eccetto che per quanto riguarda le delphinidine. Al contrario, in 'Chandler' non è stata riscontrata alcuna differenza tra le concentrazioni delle varie forme antocianiche in termini assoluti.

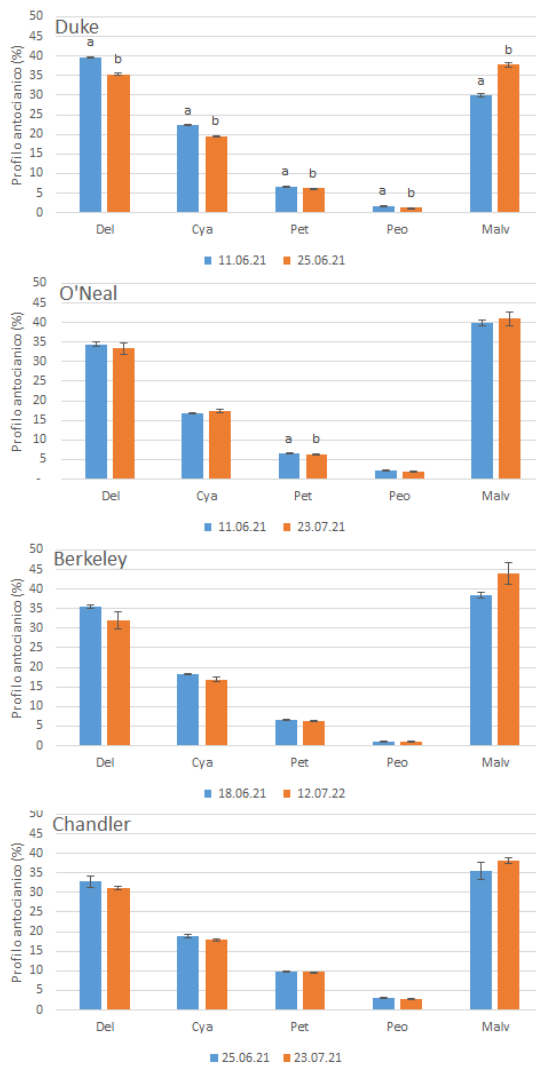


Fig. 2. Profilo antocianico percentuale per le 4 cv alle due date di raccolta. Barre d'errore rappresentano ± e.s. Lettere diverse indicano differenze significative tra date di raccolta ($P \leq 0.05$)

Fig. 2 – Anthocyanin profile for the 4 studied cv for each sampling date. Bars represent ± s.e.. Different letters indicate statistical differences between sampling dates ($P \leq 0.05$).

Oltre alle concentrazioni assolute, è utile esprimere la composizione degli antociani in termini relativi (figura 2). Considerando la proporzione relativa delle antocianidine, in ‘Duke’ tutte le singole forme diminuiscono, tranne le malvidine che aumentano. In ‘O’Neal’, invece, solo le petunidine diminuiscono leggermente ed in ‘Berkeley’ e ‘Chandler’ non si evidenzia alcuna differenza nelle proporzioni relative.

Confrontando l’andamento delle condizioni ambientali del periodo di maturazione (tabella 2) con il profilo antocianico, si può notare che ‘Duke’, a fronte di un aumento dello stress termico e ad una diminuzione dei giorni con temperature minime comprese tra 14°C e 18°C, mostra differenze significative nelle concentrazioni di malvidine e petunidine, forme considerate più stabili in condizioni di stress termico, ed in tutti i rapporti percentuali delle antocianidine.

Tab. 2. Accumulo di risorse e limitazioni ambientali nei dieci giorni precedenti al campionamento.

Tab. 2 – Accumulation of environmental resources and limitations in the ten days before sampling.

CV	DUKE			O’NEAL		
RACCOLTA	11/06	25/06	Δ	11/06	23/07	Δ
NHH	183	149	-34	183	164	-19
HHH	23	78	56	23	72	49
GDD_0	225	255	30	225	252	27
GDD_7	155	185	30	155	182	27
gg T>32°C	0	4	4	0	5	5
gg T>35°C	0	0	0	0	0	0
gg T 14-18°C	9	0	-9	9	1	-8
RSG (MJ/m ²)	2883	2734	-149	2883	2771	-112
CV	BERKELEY			CHANDLER		
RACCOLTA	18/06	12/07	Δ	25/06	23/07	Δ
NHH	190	134	-56	149	164	15
HHH	29	103	74	78	72	-6
GDD_0	251	245	-6	255	252	-3
GDD_7	181	175	-6	185	182	-3
gg T>32°C	2	1	-1	4	5	1
gg T>35°C	1	0	-1	0	0	0
gg T 14-18°C	3	4	1	0	1	1
RSG (MJ/m ²)	3030	2820	-210	2734	2771	37

‘O’Neal’, che è stata soggetta a condizioni ambientali molto simili a quelle di ‘Duke’, evidenzia differenze significative nel profilo antocianico espresso in termini assoluti, ma nessun cambiamento nei rapporti reciproci.

‘Berkeley’, che è stata sottoposta a prolungate ma non estreme condizioni di stress termico prima della seconda data di raccolta, risponde in termini di profilo antocianico ai

cambiamenti ambientali tra le due date di raccolta in modo analogo a ‘O’Neal’.

‘Chandler’, a fronte di un livello stabile delle condizioni ambientali durante la maturazione, caratterizzate da un elevato stress termico, presenta una spiccata stabilità della sua composizione antocianica, sia in termini percentuali che in termini di concentrazioni, ma non è possibile stabilire se questa risposta fisiologica della cv sia dovuta al suo background genetico o alla stabilità delle condizioni ambientali.

Conclusioni

Questa prima analisi, condotta lungo una sola stagione e con due date di raccolta per ognuna delle cv studiate ha permesso una prima valutazione di tipo qualitativo, evidenziando che le diverse varietà mettono in atto risposte differenti in base alle condizioni ambientali a cui sono sottoposte.

Sebbene il genotipo giochi un ruolo fondamentale sulla biosintesi degli antociani, le variabili ambientali, in accordo con la bibliografia, sembrano avere una notevole influenza sulla composizione del profilo antocianico del mirtillo, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo.

Tuttavia, l’esiguità dei dati non ha permesso di compiere una analisi statistica sulla correlazione esistente fra accumulo e profilo antocianico e condizioni ambientali. Per tale ragione, nel corso della corrente stagione, verrà replicato lo stesso piano sperimentale sulle stesse 4 varietà, infittendo le date di raccolta nelle cv a maturazione prolungata, in modo da ottenere il maggior numero possibile di campionamenti nelle diverse condizioni ambientali. Verranno inoltre testate le correlazioni, ipotizzando una diversa lunghezza della finestra temporale (ora fissata arbitrariamente in 10 giorni) per il cumulo delle risorse e delle limitazioni ambientali.

Bibliografia

- Azuma, A., Ban, Y., Sato, A., Kono, A., Shiraishi, M., Yakushiji, H., Kobayashi, S., 2015. MYB diplotypes at the color locus affect the ratios of tri/di-hydroxylated and methylated/non-methylated anthocyanins in grape berry skin. *Tree Genetics & Genomes*, 11(2), 1-13.
- Gough, R. E., 1993, Climatic Requirements, in: *The highbush blueberry and its management*, CRC Press, New York, pp. 67-74
- 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*, vol. 56, p. 1123-1134, ISSN: 0020-7128. DOI: 10.1007/s00484-012-0528-8
- Nesmith, D. S., 2012. Fruit Development Period of Several Southern Highbush Blueberry Cultivars. *International journal of fruit science*, 12(1-3), 249-255.
- Norberto S, Silva S, Meireles M, Faria A, Pintado M, Calhau C., 2013. Blueberry anthocyanins in health promotion: a metabolic overview. *J Funct Foods*. 5: 1518–1528.
- Spinardi, A., Cola, G., Gardana, C. S., Mignani, I., 2019. Variation of anthocyanin content and profile throughout fruit development and ripening of highbush blueberry

- cultivars grown at two different altitudes. *Frontiers in plant science*, 1045.
- White, S. N., Boyd, N. S., & Van Acker, R. C., 2012. Growing degree-day models for predicting lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) ramet emergence, tip dieback, and flowering in Nova Scotia, Canada. *HortScience*, 47(8), 1014-1021.
- Yang, F. H., Bryla, D. R., Strik, B. C., 2019. Critical temperatures and heating times for fruit damage in northern highbush blueberry. *HortScience*, 54(12), 2231-2239.

PROGETTO SUPERFEED: FENOLOGIA E PRODUTTIVITÀ DI SULLA E LUPINELLA NELL'AMBIENTE PEDOCLIMATICO DELLA VAL D'ARBIA

SUPERFEED PROJECT: SULLA AND SAINFOIN PHENOLOGY AND PRODUCTIVITY IN VAL D'ARBIA PEDOCLIMATIC ENVIRONMENT

Filip Hilaj¹, Carolina Fabbri^{1*}, Marco Napoli¹, Roberto Vivoli¹, Anna Dalla Marta¹, Simone Orlandini¹, Marco Mancini¹

¹ Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence, 50144 Florence, Italy.

* carolina.fabbri@unifi.it

Abstract

The incoming necessity to increase food production, drives farmers to use marginal lands to cultivate crops. However, the difficult weather and soil conditions should be improved by cultivating nitrogen-fixing crops and by applying sustainable agricultural techniques. Sulla (*Hedysarum coronarium*) and Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) are two drought tolerant leguminous forages that grow spontaneously in the Centre of Italy. Also, being leguminous plants, they meliorate the fertility of the soil through nitrogen fixation and the structure of it bringing new organic matter. In this experiment, we presented an experimental field applying different phosphorus fertilization levels and compounds to the two leguminous. The aim was to evaluate how the pedoclimatic condition and fertilization management influence the production in the Val D'Arbia environment.

Parole chiave

Leguminose, variabilità pedoclimatica, produttività, alimentazione animale, foraggiere

Keywords

Leguminous crops, pedoclimatic variability, productivity, animal feeding, forage crops

Introduzione

Le leguminose sono importanti per migliorare la fertilità e la struttura dei suoli agricoli, soprattutto in condizioni pedoclimatiche altamente variabili come quelle delle aree collinari del centro Italia.

Sulla e lupinella sono due leguminose foraggiere caratterizzate da elevata rusticità, crescono bene in suoli leggermente alcalini anche con abbondanza di calcare e tollerano abbastanza bene la siccità (Carbonero et al., 2011; Annicchiarico et al., 2008). Queste due colture sono destinate principalmente all'alimentazione animale poiché presentano caratteristiche desiderabili come alto valore nutritivo e contenuto in proteina grezza e sono anche importanti per la produzione di miele (Cuttle et al., 2003). Un'altra caratteristica da considerare è il contenuto in tannini condensati superiore a quello di altre leguminose foraggiere come erba medica e trifoglio, che hanno un effetto positivo soprattutto nei bovini, poiché prevengono il meteorismo e possiedono anche azione antielmintica (Ramirez-Restrepo e Barry, 2005).

La sulla è caratterizzata da alta produttività e capacità di ricaccio, ma è sensibile alle basse temperature (Annicchiarico et al, 2008). La lupinella è molto rustica e cresce bene anche in suoli con un basso contenuto in nutrienti. A differenza della sulla, la lupinella tollera anche le basse temperature e non entra in quiescenza durante l'estate, ma è caratterizzata da un lento ricaccio (Carbonero et al., 2011). La siccità durante la fase di sviluppo e crescita è un parametro in grado di ridurre

drasticamente la produttività, soprattutto per le leguminose che crescono in suoli con tessitura media rispetto a quella fine (Daryanto et al., 2015). Le ondate di calore, sempre più frequenti, impongono cambiamenti sulla produzione di leguminose influenzando su morfologia, fisiologia e riproduzione, e sono spesso causa di aborto fiorale (Sita et al., 2017).

Oltre alle variabili ambientali, anche la gestione della fertilizzazione ha un ruolo chiave nella produttività delle leguminose. In particolare è stato visto che l'aggiunta di fosforo in terreni poveri di questo elemento è capace di incrementare la formazione di noduli radicali e la produzione di biomassa (Pérez-Fernández et al., 2017; Magadlela et al., 2016). In aggiunta, la presenza di micronutrienti nel suolo e la loro disponibilità è importante per determinare la qualità di prodotto finale (Kihara et al., 2020).

Il progetto SUPERFEED (Sulla, Lupinella e siero PER Formulare insilati di Elevata qualità e Durata) nasce nell'ottica di utilizzare le leguminose sulla e lupinella ai fini di creare insilati sostenibili e nutritivi, riutilizzando in fase di fermentazione i reflui caseari quali inoculo delle fermentazioni. Nell'ambito del progetto l'obiettivo agronomico è quello di verificare l'effetto della fertilizzazione fosfatica, eseguita in differenti soluzioni, sulla risposta produttiva e qualitativa di sulla e lupinella in due differenti stagioni meteo-climatiche.

Materiali e Metodi

La prova sperimentale è stata condotta a Suvignano (43.183333 N; 11.416667 E), presso l'azienda "Tenuta di Suvignano", parte dell'Ente Terre Regionali Toscane, nel comune di Monteroni d'Arbia (SI). L'ordinamento colturale aziendale prevede la coltivazione di cereali, colture da rinnovo, foraggere e un'ampia superficie pascolativa. Il clima della zona è caratterizzato da estati brevi e calde, mentre gli inverni sono lunghi e freddi. Nella zona della Val d'Arbia il clima si avvicina a quello tipico dell'areale Mediterraneo, con temperatura media intorno ai 13.6°C e le piogge cumulate sono intorno ai 715 mm l'anno. Da un punto di vista pedologico, i campi aziendali si trovano in una zona con caratteristiche di profondità, a tessitura prevalentemente franco limosa, scarsamente ghiaiosi, da moderatamente calcarei a molto calcarei, a reazione da debolmente a moderatamente alcalina, ben drenati. I suoli sono caratterizzati dalla presenza di un orizzonte diagnostico cambico (Gardin and Vinci, 2016).

I campi sperimentali si estendono per circa 2 ha. La coltivazione di sulla e lupinella è stata effettuata seguendo un disegno sperimentale a blocchi randomizzati. Lo schema sperimentale prevede 2 livelli di P granulare (0 e 40 kg P₂O₅) applicati alla semina e 3 livelli di P fogliare (0,0, 1,5 e 3,0 kg P₂O₅) applicati prima della fioritura per un totale di 6 combinazioni uniche. Ciascun trattamento è stato replicato 3 volte, per un totale di 18 parcelle per ciascuna specie (Figura 1).

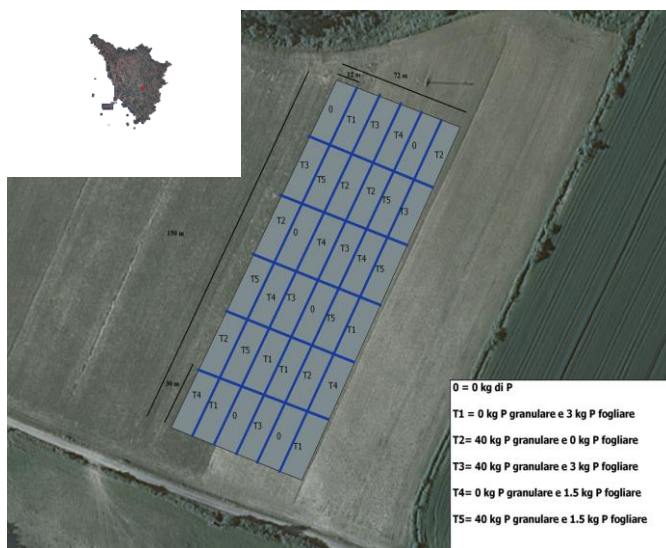


Fig. 1. Area di studio e campo sperimentale (T1-T5 trattamenti effettuati).

Fig. 1. Study area and experimental field (T1-T5 treatments carried out).

Il campo sperimentale è stato seminato il 15 marzo 2022 e le leguminose verranno raccolte a inizio della fioritura. In campo verranno effettuati rilievi fenologici, rilievi prossimali di riflettanza, campionamenti di biomassa e infine, analisi di resa e contenuto proteico. I dati meteorologici vengono

raccolti dalla stazione agrometeorologica limitrofa al campo sperimentale per studiare come la fenologia e la produzione delle leguminose si comportano in relazione alle condizioni climatiche ed al tipo di fertilizzazione.

Per comprendere l'effetto della variabilità del suolo sulla crescita e lo sviluppo sono state analizzate le principali caratteristiche del terreno prima della semina (10 gennaio 2022), su 21 punti di rilievo, equamente distribuiti sull'intera superficie sperimentale (Figura 2).

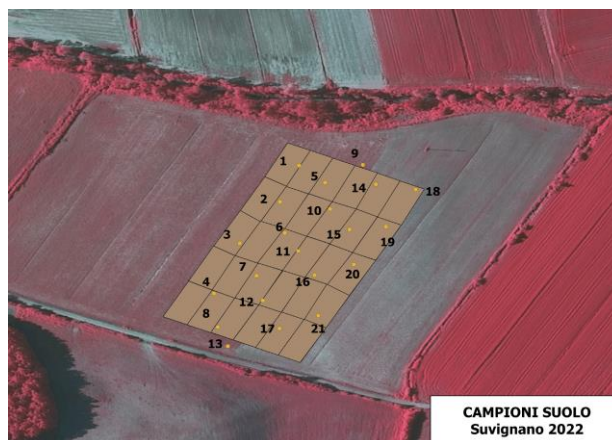


Fig. 2. Schema di campionamento del suolo agricolo.

Fig. 2. Sampling scheme of the soil.

Risultati e Discussione

Dai risultati delle analisi del suolo (Tab. 1) è emersa una dotazione media di azoto totale di 1.2 g/kg di terreno ed dotazione media di sostanza organica di 9.4 g/kg di terreno. In particolare, il fosforo assimilabile è risultato molto basso, con una media di 14 mg/kg. Per quanto riguarda la quantità di fosforo totale il terreno è ben dotato ma a probabile causa del pH risulta prevalentemente indisponibile. Per le graminacee i valori di fosforo disponibile incidono in maniera importante sulla produttività. Le leguminose, generalmente, riescono a utilizzare più efficientemente tale elemento, tuttavia come visto in bibliografia la sua presenza condiziona la riuscita della coltivazione.

Il suolo è risultato deficitario anche di ferro e zinco (media 32.5 e 0.9 mg/kg). Iratkar et al., 2014 hanno riportato una maggiore disponibilità di zinco in suoli con pH maggiore di 6.5, elevata sostanza organica e alta % di argilla. Al contrario, la potenzialità di estrazione di zinco dal suolo risulta negativamente correlata con il fosfato (Yang et al., 2011) e il carbonato di calcio (Iratkar et al., 2014).

Tab. 1. Valori medi e variabilità delle caratteristiche del suolo delle parcelle sperimentali.

Tab. 1. Mean values and variability of the characteristics of the soil in the experimental parcels.

indice	PH	N (g/kg)	S ORG. (g/kg)	C ORG. (g/kg)	C/N	P assim. (g/kg)	P totale (g/kg)
media	8.1	1.2	16.3	9.4	7.9	14.0	734.1
max	8.1	1.6	21.6	12.5	8.8	29.0	865.0
min	8.0	0.9	11.7	6.8	6.8	9.0	582.0
dv	0.0	0.2	2.8	1.6	0.5	4.8	61.9

indice	K (m g/kg)	Mg (m g/kg)	Ca (m g/kg)	Na (m g/kg)	Fe (m g/kg)	Zinco (m g/kg)
media	205.5	133.2	3608.7	11.3	32.5	0.9
max	238.0	182.0	3965.0	17.0	48.6	7.0
min	182.0	104.0	3231.0	3.0	20.2	0.3
dv	13.9	22.6	212.8	3.4	5.8	1.4

La caratterizzazione dell'andamento termopluviometrico degli ultimi tre anni mostra la variabilità riscontrabile nelle stagioni vegeto-produttive (Fig. 3). Dall'analisi delle temperature è emersa una discreta variabilità tra i vari anni. Durante la stagione primaverile i mesi più variabili sono stati aprile e maggio con temperature massime rispettivamente 18 e 19°C nel 2019, 20 e 23°C nel 2020 e 17 e 22°C nel 2021. Per quanto riguarda la stagione estiva, il mese di giugno è risultato essere quello più variabile con temperatura massima media di 31°C nel 2019, 25°C nel 2020 e 30° nel 2021, quindi una differenza di circa 7°C tra il 2020 e gli altri anni. Lo stesso andamento è stato registrato per il mese di luglio, anche se con una differenza minore di circa 3°C.

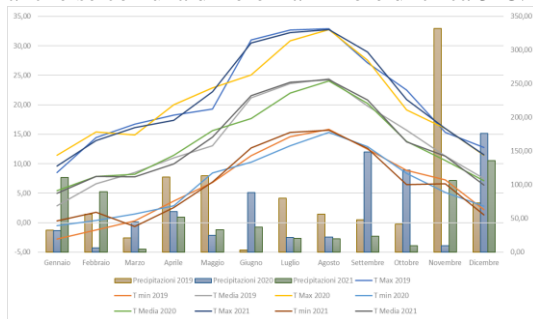


Fig. 3 – Termopluviogramma degli anni 2019, 2020 e 2021.
Fig. 3. Thermopluviogram of years 2019, 2020 and 2021.

Le precipitazioni sono concentrate soprattutto nei mesi autunnali e invernali (fig 3), mentre scarse sono risultate nei mesi primaverili-estivi, con minima nel mese di marzo. Le piogge cumulate registrate negli anni dal 2019 al 2021 sono risultate rispettivamente 968.2, 757 e 642.8 mm. Il 2019 ha mostrato un luglio-agosto decisamente più piovoso, con un totale di 136 mm, rispetto a 44 mm del 2020 e 40 mm del 2021. Tali condizioni possono sicuramente incidere sull'estivazione del periodo estivo.

Daryanto et al., 2015 riporta che la quantità di pioggia durante il periodo vegetativo influenza grandemente la resa delle leguminose. La bassa quantità di pioggia riportata rilevata negli anni analizzati, unita alla poca disponibilità di

fosforo nel terreno può determinare una minore produttività delle leguminose. In questo caso l'apporto di fosforo può essere utile in quanto questo elemento previene lo stress da siccità nelle piante (Jin et al., 2006). In particolare, è noto l'effetto del fosforo nello sviluppo di un apparato radicale robusto, capace di valorizzare meglio le basse umidità del suolo e la risalita capillare. In tal senso può essere considerato anche un mezzo di adattamento ai cambiamenti climatici.

Conclusioni

Sulla e lupinella sono due colture leguminose foraggere che crescono bene anche in condizioni siccitose, che potrebbero presentarsi sempre più spesso a causa del cambiamento climatico. Inoltre, anche la fertilità e composizione del suolo è molto importante. Queste colture sono rustiche e crescono bene anche in terreni poveri di nutrienti, tuttavia un'analisi pedoclimatica del territorio risulta necessaria per definire il sistema agricolo più adeguato. L'apporto di fosforo può, in condizioni di scarsità di questo elemento, essere un valido metodo per migliorare le prestazioni produttive della pianta anche in funzione dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

Ringraziamenti

Attività in parte svolte nell'ambito del progetto "Sulla, lupinella e siero per formulare insilati di elevata qualità e durata - SUPERFEED" del MIPAAF.

Si ringrazia Ente Terre Regionali Toscane – Tenuta Suvinano per la collaborazione.

Bibliografia

- Abusuwar A.O., Omer E.A., 2011. Effect of intercropping, phosphorus fertilization and rhizobium inoculation on the growth and nodulation of some leguminous and cereal forages. *Agriculture and Biological Journal of North America*, 2, 109-124.
- Agenzia Laore Sardegna 2017. Tecniche di coltivazione della sulla.
- Annicchiarico P., Abdelguerfi A., Ben Younes M., Bouzerzour H., Carroni A.M., Pecetti L., Tibaoui G., 2008. Adaptation of sulla cultivars to contrasting Mediterranean environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59, 702 – 706.
- Carbonero C.H., Mueller-Harvey I., Brown T.A., Smith L. 2011. Sainfoin *Onobrychis viciifolia*: a beneficial forage legume. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 165, 403 – 418.
- Cuttle S., Shepherd M., Goodlass G. 2003. A review of leguminous fertility-building crops, with particular reference to nitrogen fixation and utilisation. Department for Environment, Food and Rural Affairs Defra Project Report OF0316: The development of improved guidance on the use of fertility-building crops in organic farming Defra, London.
- Daryanto S., Wang L., Jacinthe P.A. 2015. Global Synthesis of Drought Effects on Food Legume Production. *PLoS One*, 106:e0127401.

- Gardin L., Vinci A. 2016. Carta dei suoli della Regione Toscana in scala 1:250.000. <http://159.213.57.101/pmapper/map.phtml>.
- Iratkar A.G., Giri J.D., Kadam M.M., Giri J.N., Dabhade M.B. 2014. Distribution of DTPA extractable micronutrients and their relationship with soil properties in soil of Parsori watershed of Nagpur district of Maharashtra. *Asian Journal of Soil Science*, 9, 297-299.
- Kihara J., Bolo P., Kinyua M., Rurinda J., Piikki K. 2020. Micronutrient deficiencies in African soils and the human nutritional nexus: opportunities with staple crops. *Environ Geochem Health*, 42, 3015–3033.
- Jin J., Wang G., Liu X., Pan X., Herbert S.J., Tang C. 2006. Interaction Between Phosphorus Nutrition and Drought on Grain Yield, and Assimilation of Phosphorus and Nitrogen in Two Soybean Cultivars Differing in Protein Concentration in Grains. *Journal of Plant Nutrition*, 298, 1433-1449.
- Magadlela A, Pérez-Fernández MA, Kleinert A, Dreyer LL, Valentine AJ 2016. Source of inorganic N affects the cost of growth in a legume tree species *Virgilia divaricata* from the Mediterranean-type fynbos ecosystem. *Journal of Plant Ecology*, 9, 752–761.
- Míguez-Montero M.A., Valentine A., Pérez-Fernández M.A. 2020. Regulatory effect of phosphorus and nitrogen on nodulation and plant performance of leguminous shrubs, *AoB PLANTS*, Volume 12, Issue 1, plz047.
- Pérez-Fernández M.A., Calvo-Magro E., Rodríguez-Sánchez J., Valentine A. 2017. Differential growth costs and nitrogen fixation in *Cytisus multiflorus* L'Hér. Sweet and *Cytisus scoparius* L. link are mediated by sources of inorganic N. *Plant Biology*, 19, 742–748.
- Ramirez-Restrepo C.A., Barry T.N. 2005. Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 120, 179-201.
- Sita K., Sehgal A., HanumanthaRao B., Nair R.M., Vara Prasad P.V., Kumar S., Gaur P.M., Farooq M., Siddique K.H.M., Varshney R.K., Nayyar H. 2017. Food Legumes and Rising Temperatures: Effects, Adaptive Functional Mechanisms Specific to Reproductive Growth Stage and Strategies to Improve Heat Tolerance. *Frontiers in Plant Science*.
- Yang X.-w, Tian, X.-h., Lu, X.-c., Cao, Y.-x., Chen, Z.-h. 2011. Impacts of phosphorus and zinc levels on phosphorus and zinc nutrition and phytic acid concentration in wheat *Triticum aestivum* L.. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 91, 2322-2328.

STRATEGIE INNOVATIVE PER MIGLIORARE LA RESILIENZA DEL GRANO DURO IN AMBIENTE MEDITERRANEO IN CONDIZIONE DI CAMBIAMENTO CLIMATICO

INNOVATIVE STRATEGIES TO IMPROVE THE RESILIENCE OF DURUM WHEAT IN THE MEDITERRANEAN ENVIRONMENT IN A CONDITION OF CLIMATE CHANGE

Valentina Mereu, Gianluca Carboni, Paolo Mulè, Giulia Roberta Urracci, Marco Dettori

Agris Sardegna

Abstract. Il grano duro riveste un'importanza chiave in ambiente mediterraneo in cui una serie di attività sia a monte (produzione di sementi) sia a valle (macinazione, produzione di pane e pasta) dipendono dalla sua coltivazione. Il cambiamento climatico sta minacciando seriamente sia la resa sia la qualità delle produzioni di grano duro in queste aree, mettendo a rischio il reddito degli agricoltori, la sicurezza alimentare e la stabilità sociale. In questo contesto è fondamentale identificare e implementare con urgenza soluzioni per ridurre gli impatti negativi dei cambiamenti climatici, migliorando la resilienza e la sostenibilità lungo tutta la filiera produttiva. Questi obiettivi sono al centro delle attività del caso studio Sardegna all'interno del progetto Europeo H2020 ARSINOE, che ha l'obiettivo di creare regioni resilienti al clima tramite soluzioni sistemiche e innovative. Il miglioramento genetico, l'agricoltura conservativa, l'applicazione di strumenti di supporto alle decisioni e l'uso intelligente dell'irrigazione, sono alcune tra le principali strategie da discutere con gli agricoltori, le parti interessate e i responsabili politici al fine di promuovere un atteggiamento orientato all'innovazione, che porti allo sviluppo di una catena sostenibile della filiera produttiva del grano duro in Sardegna, replicabile ed esportabile in altri ambienti mediterranei che condividano le stesse sfide e opportunità.

PROGETTO GECO2 - L'ESPERIMENTO DI UN MERCATO VOLONTARIO DI CREDITI DI CARBONIO

THE GECO2 PROJECT – THE TEST OF A VOLUNTARY CARBON CREDITS MARKET

Antonio Volta^{1*}, Giulia Villani¹, Antonio Cinti¹, Fausto Tomei¹, Francesco Giarri², Cinzia Alessandrini¹

¹ Arpaè SIMC - Struttura IdroMeteoClima, viale Silvani 6 Bologna

¹ DISTAL UNIBO - Università degli Studi di Bologna, viale Fanin 44 Bologna

* avolta@arpaè.it

Abstract

Agriculture can play a key role in the ecological transition and in coping with climate change. The European agricultural sector is responsible for 10% of the GHGs emissions with a decreasing trend in the last 20 years. In addition, soil and biomass have a big potential of carbon storage if conservative practices are adopted.

The IT-HR GECO2 project is aimed at creating a carbon voluntary market for the agricultural sector. Sustainable farms with a negative carbon budget sell the obtained credits to enterprises willing to compensate for their emissions. In this work we report the main results of this experimental market in terms of involved traders, exchanged credits and perspectives for the next future.

Parole chiave

mitigazione del cambiamento climatico, stoccaggio di carbonio, mercato volontario del carbonio

Keywords

mitigation of climate change, carbon farming, carbon voluntary market

Introduzione

Il cambiamento climatico è sempre più manifesto e l'esigenza di adottare misure efficaci per il suo contrasto sono necessarie e urgenti. I recenti accordi europei per una neutralità carbonica al 2050, che include anche l'ambizioso traguardo di riduzione delle emissioni nette del 55% rispetto alla situazione del 1990 già al 2030, richiedono una notevole spinta verso la trasformazione della società.

In Europa le emissioni imputabili all'agricoltura secondo la classificazione data dall'IPCC sono attorno al 10%. Questo valore non comprende tra l'altro né le emissioni legate ai consumi energetici di lavorazione, né quelle derivanti da processi industriali (di cui l'ammoniaca e l'urea costituiscono un'importante frazione), né quelle dovute ai rifiuti risultanti dalle fasi di produzione. Quindi, in questo ambito, il margine di miglioramento è sicuramente elevato. L'agricoltura inoltre può essere determinante negli assorbimenti del carbonio. Le biomasse e il suolo, se lavorati ed impiegati in maniera sostenibile, possono essere dei cosiddetti pozzi di carbonio (carbon sink) invece che degli emettitori netti, come avviene in agricoltura convenzionale per buona parte delle colture di base.

Il progetto GECO2 è un progetto Interreg Italia-Croazia, che ha avuto il suo svolgimento da giugno 2019 a maggio 2022. ARPAE ha coordinato il progetto sviluppato in 7 regioni grazie a 8 partner italo-croati (ARPAE, Legacoop Romagna, Regione Marche, Regione Molise, IAMB-CIHEAM, RERA, AGGRA e la contea di Dubrovnik-Neretva), vedasi Fig. 1. Il progetto ha avuto l'obiettivo di costituire un mercato volontario di crediti di carbonio nel settore agricolo. Si è creato quindi un punto di incontro tra la domanda e l'offerta di crediti di carbonio in settori in cui non c'è obbligo di

compensazione. Al di fuori del sistema "cap and trade", l'azienda che intende acquistare i crediti deve avere una motivazione chiara per volere una compensazione. Per questo motivo il progetto ha soprattutto concentrato l'attenzione sul sistema agroalimentare. Se da un lato infatti le aziende agricole virtuose hanno un chiaro interesse a incrementare il reddito con la vendita di crediti, dall'altro molte aziende trasformatrici vedono nella compensazione la possibilità di vendere il proprio prodotto con la garanzia di avere avuto un impatto nullo in produzione, o almeno ridotto, dal punto di vista delle emissioni di gas serra.

Con queste prospettive si è lavorato sviluppando, testando ed applicando il sistema di strumenti GECO2 che a seguire verranno descritti.

GECO2, pur nei suoi limiti progettuali, rappresenta una risposta innovativa per lo sviluppo di mercati volontari di CO2 equivalente, sperimentando un mercato mirato al coinvolgimento del settore agricolo, caratterizzato da alcuni criteri di fondo:

- Mercati su scala regionale e interconnessi;
- Partecipazione diffusa anche a livello di piccole e grandi imprese;
- Sistema di gestione del mercato semplice ed informatizzato;
- Bassi costi di gestione;
- Sistema di organizzazione e controllo governato a livello regionale.



Fig. 1 – Regioni e partner impegnati nello sviluppo di progetto.

Fig. 1 –Regions and partners involved in the project development.

Materiali e Metodi

Il progetto ha previsto la sperimentazione di uno schema di mercato volontario di crediti di carbonio. Gli attori del mercato sono da una parte le aziende agricole (seller), venditrici di crediti, mentre dall'altra parte le aziende trasformatrici che desiderano compensare le loro emissioni (buyer). I partner di progetto hanno svolto diversi compiti. Il primo divulgativo promozionale messo in atto con una serie di seminari sui temi chiave del progetto per accrescere la sensibilità ed evidenziare le opportunità di un tale sistema. Successivamente, durante la fase pilota, i partner hanno aiutato le aziende per la raccolta dei dati necessari per la partecipazione al mercato. Al fine di organizzare il mercato si sono creati tre strumenti informatici gestionali a supporto: 1) un calcolatore ideato per i seller in grado di valutare a scala di campo l'impronta carbonica delle coltivazioni sia in termini di emissioni che di assorbimenti; 2) un calcolatore ideato per i buyer per la stima delle emissioni della propria attività produttiva; 3) un portale web in grado di caricare i dati aziendali di seller e buyer, di permettere online le opzioni di acquisto e infine di verificare lo scambio di crediti.

Il calcolatore ideato per i seller già presentato al convegno AIAM del 2021 (Giarrì et al., 2021) è organizzato in forma modulare e richiede come input la compilazione di un questionario online nel quale il seller deve inserire i dati dei campi che si vuole far partecipare al mercato. Il calcolatore è stato pensato in ottica di progetto solo per frutteti e vigneti, escludendo quindi seminativi e orticole. I dati richiesti riguardano le principali caratteristiche pedo-climatiche del territorio e informazioni di gestione del campo ricavabili prevalentemente dal quaderno di campagna. Il questionario trasferisce i dati al calcolatore. Questo, costituito da diversi moduli di calcolo, stima le emissioni dirette, le emissioni indirette, le emissioni biogeniche e gli assorbimenti del campo. Il calcolatore ammette al mercato l'azienda se il risultato finale per ettaro è uno stoccaggio di almeno 0,5 t/ha di CO₂eq e se almeno 3 pratiche conservative delle 10 tenute in considerazione vengono applicate. Per incentivare la sostenibilità, il progetto richiede che l'azienda debba inoltre applicare una nuova pratica conservativa precedentemente non adottata.

Il calcolatore ideato per i buyer è impostato in maniera simile al precedente. Cioè l'azienda che desidera partecipare deve compilare un questionario online. Il buyer nel questionario deve dichiarare se ha un LCA disponibile. In caso positivo viene usato quel valore come debito, altrimenti il questionario continua chiedendo i dati di consumi energetici (elettrici e di combustibile) che il calcolatore trasformerà in unità di CO₂ equivalente.

Il portale web è stato sviluppato in collaborazione tra ARPAE e IAMB. Detto portale è in grado di leggere gli output del calcolatore e pubblicarli. Il buyer trova quindi una lista di aziende agricole offerenti crediti e può esercitare una o più opzioni di acquisto. A questo punto il progetto esegue un'ultima verifica e se tutta la documentazione risulta in regola, permette la transazione. Avvenuta la transazione i crediti dell'azienda agricola non risultano più disponibili e viene aggiornato un registro nel quale vengono tracciati tutti gli scambi.

Risultati e Discussione

Grazie alle azioni di divulgazione e promozione del progetto sono state coinvolte numerose aziende sia dal lato seller che da quello buyer. Al momento della scrittura di questo articolo, in cui mancano ancora 20 giorni alla conclusione del progetto, le aziende agricole (seller) che sono state coinvolte e che hanno passato i requisiti di progetto sono 160, con un totale di 203 campi monitorati. Le aziende sono indicativamente ripartite in egual misura sui diversi territori regionali interessati. E' risultata una discreta eterogeneità per quanto riguarda l'estensione dei campi con una prevalenza di campi di piccola dimensione, intorno all'ettaro. Il totale di crediti raggiunti ha superato i 4500, corrispondenti alle tonnellate per ettaro di CO₂ equivalenti assorbite. L'assorbimento medio per ettaro è risultato di poco superiore alle 2 tonnellate di CO₂ equivalente.

Per dare un ordine di grandezza questo numero equivale all'impronta dei consumi elettrici annuali di circa 4000 famiglie italiane medie.

Il numero di pratiche sostenibili mediamente utilizzate sono più di 6 ed è risultato un particolare utilizzo di accorgimenti nelle lavorazioni del suolo. La maggioranza delle aziende partecipanti, almeno in Italia, è biologica. Per quanto riguarda il tipo di coltura invece non abbiamo notato la prevalenza di una tipologia rispetto alle altre. Sono presenti nei campi monitorati pomacee, drupacee incluso olivo, agrumi, vite, actinidia, loto e frutta da guscio (noci e mandorle).

Per quanto riguarda il lato buyer al momento ci sono state diverse manifestazioni di interesse, ma ancora nessuna transazione è avvenuta. I settori più interessati sono quelli della trasformazione e vendita agroalimentare. Abbiamo frantoi, produzione di confetti e di succhi di frutta, nonché una grande catena di distribuzione. Ai buyer che effettivamente compreranno i crediti verrà assegnato un logo (Fig. 2) che sarà possibile esporre sui propri prodotti come leva di marketing.



Fig. 2 – Logo assegnato alle aziende acquirenti crediti nell'ambito del progetto GECO2.

Fig. 2 – Logo released to buyers in the framework of the GECO2 project.

Conclusioni

Il progetto Interreg GECO2 ha previsto lo sviluppo di un mercato volontario di crediti di carbonio che si è sviluppato in ambito interregionale tra Italia e Croazia. Questo progetto è stato sicuramente un'avanguardia per una tematica come quella del carbon farming, che vedrà un consistente sviluppo

negli anni a venire. Le criticità evidenziate nella gestione di un tale mercato saranno molto importanti per la replica e lo sviluppo di sistemi simili. Possiamo in conclusione dire di avere contribuito alla mitigazione dei cambiamenti climatici, fornendo uno strumento in grado di dare valore aggiunto a tutta la filiera agroalimentare incrementando le entrate delle aziende agricole e valorizzando i prodotti trasformati garantendo la loro neutralità carbonica.

Ringraziamenti

Questo contributo viene presentato nell'ambito del Progetto GECO2. Il progetto GECO2 è finanziato attraverso il programma Interreg IT-HR.

Bibliografia

Giari F., Volta A., Villani G., Marotta L., Tomei F., Cinti A., Carlino U., Ventura F., 2021. Progetto GECO2: un modello per il bilancio sostenibile del carbonio. Atti del XXIII convegno di agrometeorologia AIAM: 21-25.

SERVIZI DI ARPAS A SUPPORTO DELLA ZOOTECNIA IN SARDEGNA

ARPAS SERVICES SUPPORTING LIVESTOCK FARMING IN SARDINIA

Ilaria Peana^{1*}, Michele Fiori¹, Giuliano Fois¹, Giovannamaria Mannu¹

¹ Arpa Sardegna, ARPAS – Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente della Sardegna, Dipartimento Meteorologico - Servizio Meteorologico Agrometeorologico ed Ecosistemi, Viale Porto Torres, 119 – 07100 Sassari

* ipeana@arpa.sardegna.it

Abstract

Thermal stresses cause significant production losses in livestock farms, as livestock in critical environmental conditions use part of the body's energy for thermoregulation to the detriment of other activities such as milk production and reproduction. The negative effect caused by thermal extremes is also stressed by association with other meteorological factors such as wind at low temperature conditions and humidity in very hot situations. In bibliography there are several biometeorological indices that allow to estimate physiological stresses suffered by livestock. For several years, the Meteorological Department of Regional Environmental Protection Agency of Sardinia (ARPAS) has provided services for forecasting and daily analysis of measured data in relation to two indicators of livestock well-being: Wind Chill Index (WCI) and Temperature Humidity Index (THI). Monthly and annual reports of these indicators are also produced to analyze in detail the situation in different periods and identify the areas that have shown a greater risk situation for livestock.

Parole chiave

Stress da caldo, stress da freddo, WCI, THI, latte

Keywords

Heat stress, cold stress, WCI, THI, milk

Introduzione

Il Dipartimento Meteorologico di ARPAS fornisce servizi in ambito meteorologico, agrometeorologico, biometeorologico, climatologico e di modellistica ambientale attraverso la pubblicazione quotidiana di bollettini di previsione e di dati misurati, l’emissione di reportistica agrobiometeorologica a varia cadenza temporale mediante anche l’uso della cartografia e della tecnologia GIS, la raccolta e validazione dati per il Sistema Informativo Regionale Ambientale, la realizzazione di studi ed analisi sul clima regionale e sui trend in atto, e la valutazione degli effetti delle condizioni meteorologiche sull’uomo, sull’agricoltura e sull’ambiente. A tal fine, il Dipartimento gestisce oltre 300 stazioni di rilevamento dislocate su tutta la Sardegna (Fig. 1), 2 stazioni di ricezione dati da satellite in tempo reale, un radar meteorologico, una rete fulminometrica e sta completando l’installazione di una rete CODAR per il monitoraggio dello stato del mare.

Per quanto concerne l’aspetto prettamente agrometeorologico, il Dipartimento emette periodicamente numerosi bollettini, consultabili in apposite pagine del sito web (www.sar.sardegna.it; <https://www.sardegnaambiente.it/arpas/>), che consentono di avere continui aggiornamenti sull’andamento di specifici indicatori che riguardano vari aspetti dell’agrometeorologia. Tra i diversi prodotti consultabili sono pubblicate informazioni sulla disponibilità termica per le colture, le risorse idriche e le condizioni di siccità dei suoli e per quanto concerne il bestiame di interesse zootecnico sono disponibili indicazioni sulle possibili condizioni di stress fisiologico correlate alla presenza di fattori meteorologici avversi.

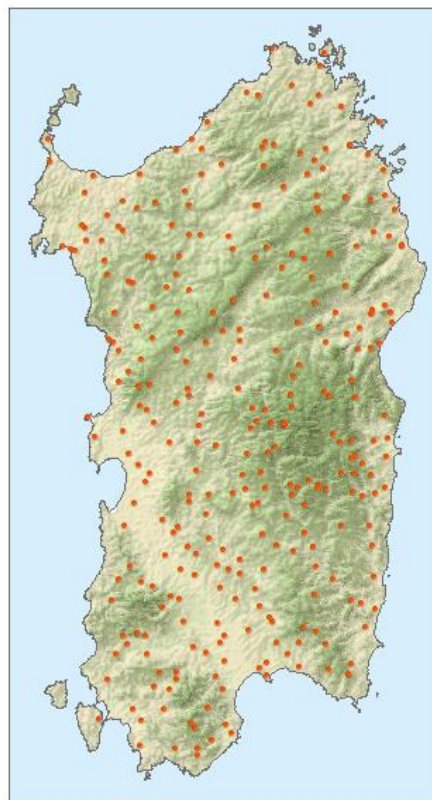


Fig.1 – Stazioni di monitoraggio della Rete ARPAS.
Fig.1 – ARPAS monitoring stations network

Effetto delle condizioni meteorologiche sul bestiame di interesse zootecnico

La seconda metà del secolo scorso è stata contraddistinta da un progressivo sviluppo del comparto zootecnico che ha permesso di migliorare in breve tempo le performance produttive di numerose specie allevate. Tale successo ha riguardato in particolare i paesi industrializzati ed è stato legato alla crescita e diffusione di importanti conoscenze tecnologiche e scientifiche nel campo genetico, fisiologico, sanitario e gestionale. Un aspetto negativo associato all'incremento della produttività è tuttavia legato all'elevata incidenza dei problemi metabolici e alla difficoltà da parte dell'animale selezionato di adattarsi alle diverse condizioni di stress. Negli ultimi anni questo nuovo scenario ha indotto molti ricercatori ad approfondire nuove discipline, come la biometeorologia e la bioclimatologia, per meglio comprendere l'influenza delle condizioni meteorologiche e climatiche sulla fisiologia delle specie animali e conoscere i meccanismi di adattamento e le strategie gestionali che possano consentire di limitare gli effetti negativi, in particolare sulla produzione. Gli animali di interesse zootecnico, come tutti i mammiferi e gli uccelli, sono definiti *omeotermi* in quanto grazie al meccanismo della termoregolazione sono in grado di mantenere costante il bilancio energetico interno e, quindi la temperatura corporea, anche quando vi è una variazione delle condizioni ambientali. Questo è possibile grazie ad un continuo scambio di calore tra l'animale e l'ambiente esterno, che è fortemente dipendente dalla temperatura dell'aria, ed è legato all'originarsi di meccanismi fisiologici e fisici di termoregolazione che dipendono dall'ipotalamo. Quando l'ambiente circostante si trova in un intervallo di temperatura di comfort, definita zona termoneutrale (TNZ), la produzione di calore metabolico da parte degli animali è costante nel tempo e dipende fortemente dal livello di ingestione. Nel caso in cui la temperatura dell'aria risulti al di sotto o al di sopra della TNZ il tasso di produzione di calore tende invece a cambiare e l'animale per mantenere l'omeotermia è costretto ad utilizzare vari meccanismi fisiologici e comportamentali di adattamento che determinano aumento dei fabbisogni di mantenimento, variazioni nell'appetito, nelle funzioni digestive e metaboliche e nell'efficienza di utilizzazione della dieta. La conseguenza di questi cambiamenti è rappresentata da alterazioni nelle funzioni riproduttive, negli accrescimenti, nella qualità e quantità di latte prodotto e nella salute stessa degli animali che possono andare incontro anche a morte per ipotermia o ipertermia in base all'intensità e alla durata delle condizioni ambientali esterne. L'effetto negativo degli estremi termici è inoltre accentuato dall'associazione con altri fattori meteorologici e dall'interazione tra essi. Il vento in condizioni di basse temperature riduce l'isolamento termico esterno, incrementando la dispersione di calore corporeo verso l'ambiente e aumentando la richiesta di energia per il mantenimento, mentre l'umidità in situazioni di elevato caldo riduce fortemente la perdita di calore per evaporazione attraverso la cute e il tratto respiratorio limitando il processo di termoregolazione. Inoltre, gli effetti diretti della pioggia sul bestiame sono legati oltreché alla dissipazione del calore

anche al livello di ingestione alimentare. Quando alla pioggia si associano condizioni ventose e basse temperature gli animali tendono a cessare il pascolamento alla ricerca di un riparo, mentre in condizioni di caldo, se la pioggia non è troppo intensa, questa ha un effetto positivo perché tende a mitigare le conseguenze delle alte temperature. Anche la radiazione solare ha un'importante funzione nel mantenimento del bilancio termico. È evidente come in ambienti con elevate temperature sia necessario proteggere il bestiame dalla radiazione diretta con adeguati ripari.

La capacità di resistenza al caldo e al freddo è strettamente correlata alla specie, la razza, l'età, lo spessore e la lunghezza del mantello, lo stato fisiologico e il livello produttivo degli animali stessi. Le specie di dimensioni più piccole (pecore e capre), gli individui più giovani, le razze con meno grasso di deposito e un mantello più sottile, e gli individui non in lattazione hanno una minore capacità di resistere alle basse temperature. Per contro l'adattamento alle alte temperature è minore nelle specie di grandi dimensioni per la limitata capacità di dissipare calore in eccesso, negli animali più produttivi per la maggiore produzione di calore metabolico e in quelli che hanno meno ghiandole sudoripare e di minori dimensioni.

Ad oggi numerosi studi sono stati condotti sull'accrescimento e sulla qualità delle produzioni nei bovini da carne in ambienti freddi e sulle performance dei bovini da latte in condizioni di alta temperatura, mentre le conoscenze sugli effetti delle grandezze meteorologiche sui piccoli ruminanti sono più limitate in particolare nell'area mediterranea. Considerando che la Sardegna è una regione ad elevata intensità di produzioni zootecniche e che, in particolare, l'allevamento degli ovini da latte riveste un'importanza strategica sia per il numero di aziende coinvolte che per il valore delle produzioni è quanto mai necessario avere a disposizione degli strumenti che consentano di monitorare e prevedere la condizione di benessere degli animali in relazione alle grandezze meteorologiche a cui sono esposti. Questo aspetto riveste un ruolo fondamentale in particolare nell'allevamento ovino in quanto la maggior parte delle aziende sarde pratica una gestione di tipo estensiva in cui le greggi pascolano tutto l'anno e sono a diretto contatto con l'ambiente circostante, diversamente da quanto avviene per i bovini e i suini.

I servizi per la zootecnia del Dipartimento Meteorologico di ARPAS

Da diversi anni il Dipartimento Meteorologico di ARPAS fornisce supporto nella gestione degli allevamenti zootecnici mettendo a disposizione nel suo sito web le elaborazioni relative a vari indicatori che stimano la condizione di stress subita dal bestiame quando è esposto a condizioni meteorologiche esterne sfavorevoli.

Il Wind Chill Index (WCI) o indice di freddo (Siple e Passel, 1945) consente di stimare il disagio fisiologico avvertito dal bestiame esposto a basse temperature e vento. L'indice nonostante non sia molto recente è tra i pochi presenti in bibliografia per valutare lo stress da freddo e, comunque, in base ad uno studio degli ultimi anni sugli ovini di razza Sarda risponde molto bene alla situazione di tali allevamenti in

Sardegna, evidenziando condizioni di rischio e cali produttivi (Peana *et al.*, 2017).

Il calcolo dell'indice si basa sulla seguente formula:

$$WCI = 33 - (33 - Ta) \left(0,474266 + 0,453843 \sqrt{V} - 0,0453843 V \right)$$

dove Ta è la temperatura dell'aria (°C) e V è la velocità del vento (m/s).

In base ai valori di WCI si possono distinguere 7 categorie di disagio, tanto più critiche quanto più basso è il valore dell'indice (Tab. 1).

Tab.1 – Legenda classi di disagio indice WCI.

Tab.1 –WCI – list of discomfort classes.

Valori Indice	Classe di disagio
$WCI > 10$	Nessun Disagio
$10 \geq WCI > 1$	Lieve Disagio
$-1 \geq WCI > -10$	Disagio
$-10 \geq WCI > -18$	Elevato disagio
$-18 \geq WCI > -29$	Possibile Congelamento in seguito ad esposizione prolungata
$-29 \geq WCI > -50$	Congelamento in seguito ad esposizione prolungata
$WCI \leq -50$	Rapido Congelamento in seguito a breve esposizione

Il Temperature Humidity Index (THI) o indice di caldo (Kliber, 1964) permette, invece, di stimare le condizioni di stress per il bestiame causate da alte temperature ed elevati valori di umidità dell'aria. Esistono molti altri indici biometeorologici che possono essere calcolati per valutare i potenziali rischi a cui è soggetto il bestiame in condizioni termiche elevate, ma il THI è senza dubbio uno degli indici più attendibili e utilizzati.

Il calcolo si basa sulla formula seguente:

$$THI = \left(1,8Ta - \left(\left(1 - \frac{Ur}{100} \right) (Ta - 14,3) \right) \right) + 32$$

dove Ta è la temperatura dell'aria (°C) e Ur è l'umidità relativa dell'aria (%).

La classificazione prevede diverse condizioni di stress per il bestiame, tanto maggiori quanto più elevato è il valore dell'indice (Tab. 2). A livello internazionale l'indice presenta 3 categorie di rischio (*Allerta, Pericolo ed Emergenza*) a cui ARPAS ne ha aggiunte altre 3 (*Possibile Disagio, Lieve Disagio e Disagio*), oltre a quella di *Nessun Disagio*, dopo alcuni studi condotti su ovini di razza Sarda (Peana *et al.*, 2017; Peana *et al.*, 2007a; Peana *et al.*, 2007b).

Tab.2 – Legenda classi di disagio indice THI.

Tab.2 –THI – list of discomfort classes.

Valori Indice	Classe di disagio
$THI < 65$	Nessun Disagio
$65 \leq THI < 68$	Possibile Disagio
$68 \leq THI < 72$	Lieve Disagio
$72 \leq THI < 75$	Disagio
$75 \leq THI < 79$	Allerta
$79 \leq THI < 84$	Pericolo
$THI \geq 84$	Emergenza

Per ciascun indicatore il Dipartimento Meteorologico pubblica quotidianamente un bollettino previsionale per la

giornata di oggi e quella successiva nel quale vengono riportati i livelli di disagio previsti a cadenza oraria per oltre 80 località della Sardegna (<http://www.sar.sardegna.it/servizi/agro/indici.asp>). Viene emesso anche un bollettino di dati misurati dove sono riportati il valore medio e il valore massimo/minimo degli indici calcolati per il giorno precedente, la distribuzione degli indici nelle 24 ore con le corrispondenti categorie di disagio e, infine, il numero di ore giornaliere in cui l'indice si è presentato nelle diverse classi di rischio.

Nella stessa sezione è aggiornato quotidianamente anche un altro indicatore, il THI-hours (Hahn *et al.*, 1999), utilizzato prevalentemente per lavori scientifici. Tale indice fornisce una misura dell'intensità e della durata dell'accumulo termico in un determinato intervallo di tempo. Viene calcolato in maniera molto simile ai Gradi Giorno (GDD) per le colture, come differenza tra il valore orario del THI (Temperature Humidity Index) e una soglia considerata base (es. 68, 72, 75, 79, 84). Il valore del THI-hours può essere sommato giornalmente in maniera da fornire una indicazione sull'accumulo di stress da caldo nel corso delle 24 ore o per intervalli di tempo più lunghi. Nel bollettino sono riportati i valori di THI-hours accumulati rispetto alle diverse soglie di THI e il confronto con l'accumulo complessivo a partire dall'inizio del mese.

Gli indici WCI e THI, inoltre, sono analizzati a livello mensile ed annuale all'interno rispettivamente del *Riepilogo Mensile Meteorologico ed Agrometeorologico* (<http://www.sar.sardegna.it/publicazioni/riepiloghimensili/mensili.asp>) e dell'*Analisi Agrometeorologica e Climatologica della Sardegna* (<http://www.sar.sardegna.it/publicazioni/periodiche/report/annuali.asp>) in cui sono elaborate informazioni di sintesi a livello regionale attraverso l'uso di mappe e il confronto con il dato medio pluriennale (Fig. 2) e realizzati grafici sull'andamento delle permanenze orarie nei vari livelli di stress e sugli estremi raggiunti.

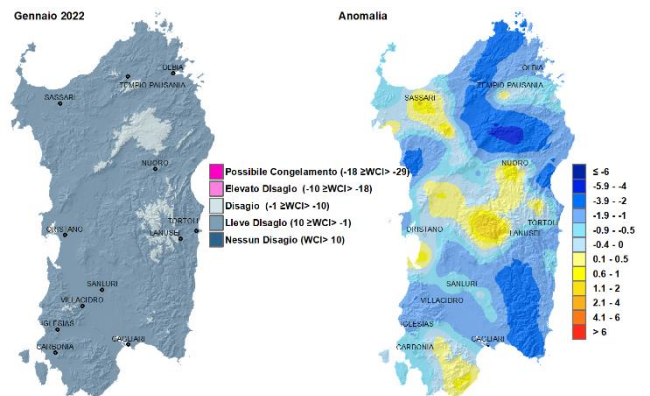


Fig.2 – WCI medio per il mese di Gennaio 2022 e raffronto con i valori medi del periodo 1995-2014.

Fig.2 – Average WCI for the month of January 2022 and comparison with the average values of the period 1995-2014.

L'analisi mensile 2021 è stata elaborata anche utilizzando specifiche applicazioni di ArcGIS Online ed è disponibile per la consultazione sulla piattaforma di WebGIS ARPAS all'indirizzo <https://arpas.maps.arcgis.com/home/index.html>. Nei riepiloghi periodici sono, infine, presenti per i mesi estivi le elaborazioni relative ad un altro indicatore di interesse zootecnico, derivato direttamente dal THI, e denominato Heat Waves (HW) o onda di calore (Lacetera *et al.*, 2005). Una HW si verifica ogni qual volta che per 3 giorni consecutivi il THI risulta uguale o superiore al valore 72 per almeno 14 ore giornaliere.

Il Dipartimento Meteorologico nel corso degli anni ha inoltre realizzato e aggiornato la serie delle mappe mensili pluriennali degli indici di stress al fine di identificare le aree della Sardegna in cui il bestiame rischia di subire maggiormente gli effetti degli stress termici nei vari periodi dell'anno. Tali informazioni possono essere utili per gli allevatori per migliorare la gestione degli allevamenti più a rischio, attraverso l'uso dei ricoveri o ripari adatti e programmando in modo adeguato la razione alimentare nei periodi più critici in modo da compensare l'aumento dei fabbisogni di mantenimento, le alterazioni fisiologiche e le perdite produttive ad essi connesse. Le mappe mensili sono disponibili sia per i valori medi e minimi del WCI che per quelli medi e massimi del THI relativamente al periodo 1995-2014 e si basano sull'analisi dei valori orari dell'indice. Dalle elaborazioni si evince come il periodo potenzialmente più critico per lo stress da freddo in Sardegna sia relativo ai mesi di gennaio e febbraio in particolare nelle aree montuose della Barbagia e nelle aree circostanti la catena del Marghine-Goceano e dei Monti di Alà in cui si evidenziano valori di media delle minime per il WCI nel livello di *Disagio* (Fig. 3). Per quanto riguarda, invece, la situazione nei mesi estivi il periodo più critico per il benessere degli allevamenti è il bimestre luglio-agosto dove è estesa a gran parte dell'Isola la condizione legata al livello di *Allerta*, particolarmente evidente lungo le coste, la pianura del Campidano e la Nurra (Fig. 4). Tali mappe rappresentano delle condizioni medie pluriennali ed è perciò da considerare che nel corso dei singoli anni e dei vari giorni possano verificarsi condizioni di disagio molto più critiche per il bestiame.

Il Dipartimento Meteorologico nel corso degli anni si è anche occupato di studi a carattere biometeorologico in collaborazione con AGRIS SARDEGNA (Agenzia per la Ricerca in Agricoltura), LAORE SARDEGNA (Agenzia regionale per l'attuazione dei programmi in campo agricolo e per lo sviluppo rurale) ex ARA (Associazione Regionale Allevatori) e la sezione di Scienze Zootecniche del Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Sassari per indagare gli effetti delle condizioni meteorologiche, in particolare sugli ovini di razza Sarda, e le conseguenze sulle performance produttive.

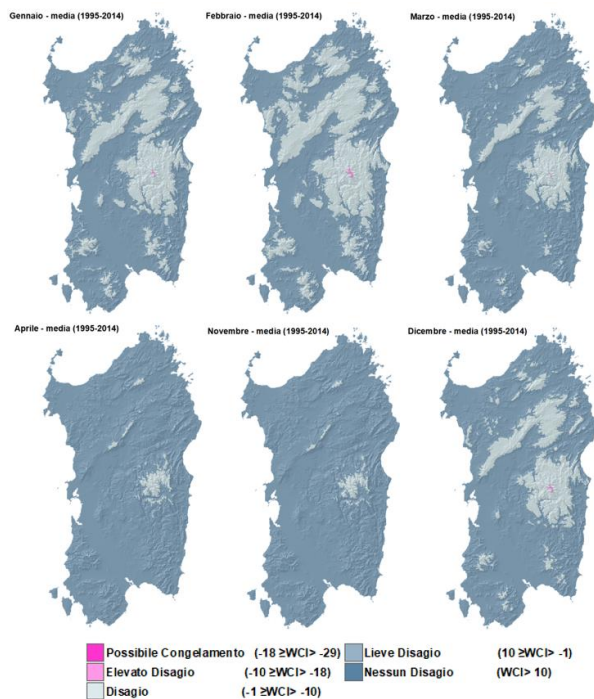


Fig.3 – Media pluriennale delle minime di WCI per i mesi gennaio-aprile e novembre-dicembre.

Fig. 3 - Multi-year average of WCI minimums for the months January-April and November-December.

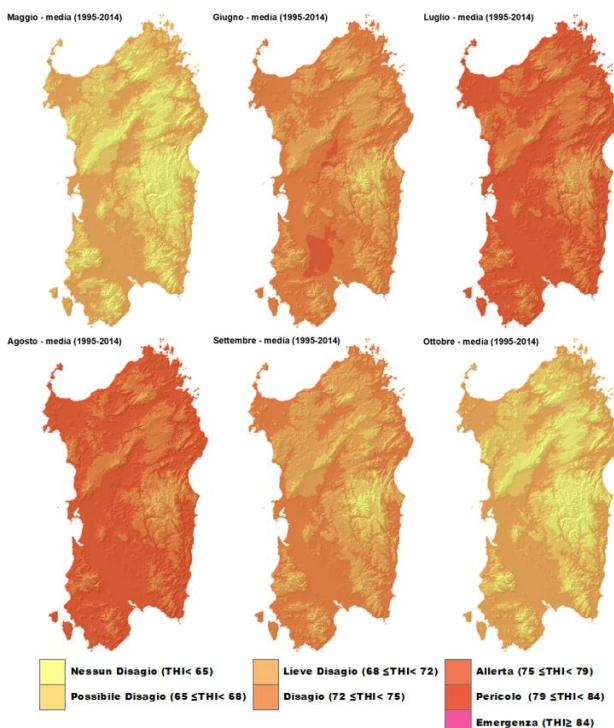


Fig.4 – Media pluriennale delle massime di THI per i mesi da maggio ad ottobre.

Fig. 4 - Multi-year average of the maximum THI for the months from May to October.

Bibliografia

- Siple P.A., Passel C.F., 1945. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. Proc. Amer. Phill. Soc., 89: 177-199.
- Kliber H.H., 1964. Environmental physiology and shelter engineering. LXVII. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by physiological responses. Res. Bull. Missouri Agric. Exp. Station: 862.
- Hahn G.L., Mader T.L., Gaughan J.B., Hu Q., Nienaber J.A., 1999. Heat waves and their impacts on feedlot cattle. Proc. 15 th Int'l. Congr. of Biometeorology and Int'l. Congr. Of Urban Climatology, Sydney, Australia.
- Lacetera N., Benabucci U., Scalia D., Ronchi B., Kuzmisky G., Nardone A., 2005. Limphocyte functions in dairy cows in hot environment. International Journal of Biometeoroly, 50:105–110.
- Peana I., Francesconi A.H.D.F., Dimauro C., Cannas A., Sitzia M., 2017. Effect of winter and spring meteorological conditions on milk production of grazing dairy sheep in the Mediterranean environment. Small Ruminant Research, 153:194-208.
- Peana I., Fois G., Cannas A., 2007a. Effect of heat stress and diet on milk production and feed and energy intake of Sarda ewes. PROC. 17th NAT.CONGR.ASPA. Italian Journal of Animal Science, vol. 6 (Suppl. 1), 557-579.
- Peana I., Dimauro C., Carta M., Gaspa M., Fois G., Cannas A., 2007b. Effects of heat stress on milk yield in Sardinian dairy sheep farms. PROC. 17th NAT.CONGR.ASPA. Italian Journal of Animal Science, vol. 6 (Suppl. 1), 581.

SVILUPPO DEL NUOVO SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER LA GESTIONE DELLA DISTRIBUZIONE DEI REFLUI IN LOMBARDIA

DEVELOPMENT OF THE NEW REGIONAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF LIVESTOCK MANURE DISTRIBUTION IN LOMBARDY

Gabriele Cola*¹, Ermes Movedi², Fosco Vesely², Marco Foi², Carlo Riparbelli³, Lorenzo Craveri³, Silvia Renata Motta⁴, Roberto Confalonieri²

¹ Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

² Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali

³ Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste

⁴ Regione Lombardia – Direzione Generale Agricoltura

* gabriele.col@unimi.it

Abstract

A new WEB-GIS service has been developed in order to manage the field distribution of livestock manure during winter, in accordance with the European regulation. Based on high resolution historical and forecast weather data and soil hydrological features, the service models the soil water content and the resulting soil practicability with a spatial resolution of 4 km².

Model outputs, aggregated at the municipal scale, will be published twice a week, providing the distribution permission for the following 3 (or 4, depending on the day of issue) days and a further tendency. Information will be delivered to the farmers and the Community by means of the WEB-GIS application and the mobile app “Nitratì”.

Parole chiave:

sistema di support alle decisioni, nitrati, distribuzione reflui, bilancio idrico, bollettino

Keywords:

decision support system, nitrate, manure distribution, water balance, bulletin

Introduction

The European regulation on water pollution limits the winter in field distribution of livestock manure, sewage sludge, fertilizers and waste-water and all the comparable products along the November-February period. For this purpose, in Lombardy, since 2016, ERSAF and Regione Lombardia are in charge for the periodical (twice a week) issue of the management bulletin called “Bollettino Nitratì”.

Currently, the regulation defines a continuative stop for the period December 15 – January 15) and the management of other 58 day stops, depending on the soils accessibility, for the time spans November 1 – December 15 and January 16 – February 28.

For these latter two periods, the bulletin provides to the farmers a mandatory information divided in 6 macro-areas for the field accessibility. The Monday issue provide information for Tuesday, Wednesday and Thursday, while Friday, Saturday, Sunday and Monday are covered by the Thursday issue. Thanks to the expertise of the technical personnel, the bulletin outputs are based on the interpretation of previous and forecasted weather, considering the prevalent soil features of each Province.

In order to provide a more detailed information, this work aimed at the development and implementation of a web service for the definition of the soil accesibility, providing the mandatory information at the municipal scale. The service is based on the resolution of a daily water balance performed on a 4 km² grid for all the agricultural soils of Lombardy.

Materials and Methods

The web service is composed by 3 parts: 1) the meteorological processing system, 2) the hydrological processing system, 3) the soil accessibility processing system. The meteorological processing system collects historical weather station data from International, National and regional services and, after a quality check, produces daily fields of temperature and precipitation with a spatial resolution of 4 km². GCM weather forecasts are also assimilated and, after Model Output Statistics processing, are resampled with the same resolution of historical data, covering a maximum of 14 days of forecast.

The hydrological processing system provides a daily simulation of soil water content for all the agricultural soils of Lombardy with the same spatial resolution of the meteorological system.

Fed by meteorological data (historical and forecasted), the system performs a daily cascading water balance with travel time for percolation. This type of model has been chosen as (i) more consistent with the data available in input and with the need for updating (frequency) and robustness of the system compared to approaches based on numerical solutions of the Richards equation (Richards, 1931) and (ii) more able to simulate the processes of interest (e.g., saturation and water stagnation conditions) than a single reservoir model (e.g., Romano et al., 1998), because they provide a limit in terms of saturated hydraulic conductivity to the flow of water from one soil layer to the one below.

In terms of soil physical properties, the model relies on spatial layers, derived from the regional soil map by ERSAF (figure 1).

The soil accessibility processing system aggregates water content values at the municipal level for the next 7 days and converts the information into a boolean accessibility indicator (YES/NO), based on soil water content and soil type. Since the bulletin is issued twice a week, each issue will provide mandatory information for 3/4 days and a tendency for the following 4/3 days. This is intended to help farmers in planning the distribution activities. An example of the system outputs is given in figure 2, where the daily soil accessibility for three seasons in Curtatone (MN) is presented.

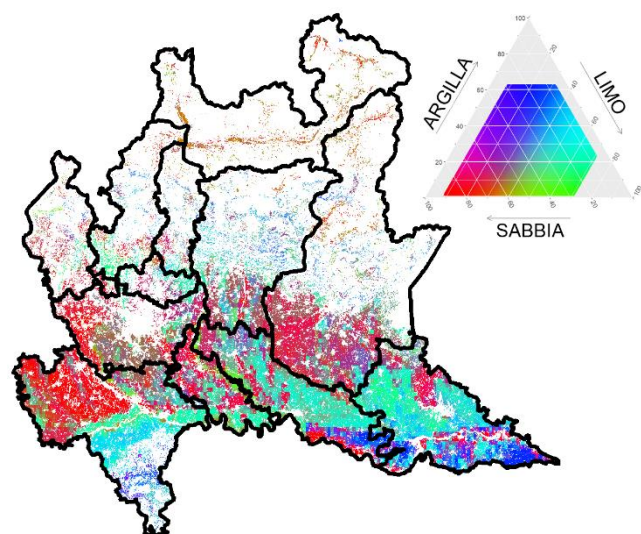


Fig. 1 Suoli agricoli e loro tessitura
Fig. 1 Agricultural soils texture

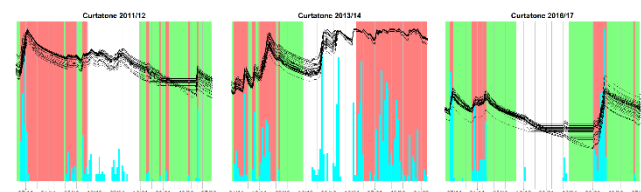


Fig. 2. Praticabilità del comune di Curtatone (MN) per tre annate di analisi. Le barre rosse e verdi rappresentano la praticabilità (NO/SI) del comune, le barre azzurre gli apporti precipitativi, le linee nere i bilanci idrici di ogni cella agricola afferente al comune.
Fig. 2 – Soil accessibility in Curtatone (MN) during three winter seasons. Red and Green bars represent the accessibility (NO/YES), blue bars represent precipitation while black lines the water soil content for all agricultural grid cell falling into the municipality territory.

Results

In coherence with the current Bulletin emission schedule and in order to provide an easy handleable tool to farmers, the system will be updated twice a week, on Monday and Thursday.

The information will be implemented in a user delivery platform and a manager control-board, allowing the Bulletin managers to monitor the information through a GIS web client.

The user delivery platform will be a web GIS - accessible from PC, tablet or smartphone - which will allow the user to display the accessibility map for one of the next 7 days (mandatory and tendency) and also to display the accessibility timeline of selected municipalities.

Furthermore, the delivery platform will allow users to create and download a pdf file with the displayed information and the date of consultation, in order to provide a certification of the prescription provided.

All the issued Bulletin will be maintained available online for consultation for the entire season.

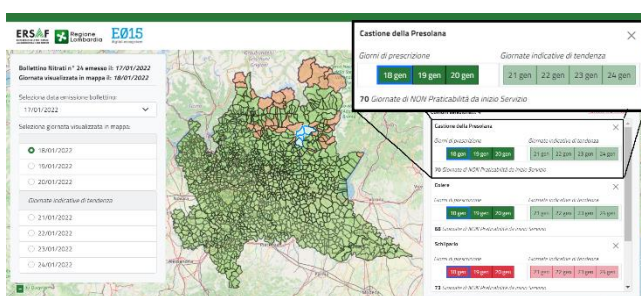


Fig. 3 – La piattaforma WEB del Bollettino Nitrati.
Fig. 3 – The Bollettino Nitrati user delivery platform.

Conclusions

After a first year of testing, the Bollettino Nitrati web service will be operational next October, being available online and via the mobile App Nitrati.

Bibliografia

- Neitsch, S.L., Arnold, J., Kiniry, J.R., Williams, J.R., 2000. Soil and Water Assessment Tool user's manual version 2000. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, TX, USA.
- Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous media. Physics, 1, 318-333.
- Romano, N., Brunone, B., Santini, A., 1998. Numerical analysis of one-dimensional unsaturated flow in layered soils. Advances in Water Resources, 21, 315-324.

INDICE DI TEMPERATURA E UMIDITÀ PER LA VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI STRESS DA CALDO NEI BOVINI DA LATTE IN DIFFERENTI AREE GEOGRAFICHE DEL MUGELLO (TOSCANA)

TEMPERATURE HUMIDITY INDEX FOR THE EVALUATION OF DAIRY CATTLE HEAT STRESS IN DIFFERENT GEOGRAPHICAL AREAS OF MUGELLO (TUSCANY)

Alessandro Messeri^{1,2,3*}, Alfonso Crisci⁴, Gianni Messeri^{1,4}, Alberto Ortolani^{1,4}, Bernardo Gozzini^{1,4}, Marco Morabito⁴, Riccardo Bozzi⁵, Francesco Sirtori⁵, Simone Orlandini^{2,5}, Marco Mancini^{2,5}

¹ LaMMA Consortium – Weather Forecaster and Researcher at Laboratory of Monitoring and Environmental Modelling for Sustainable Development, 50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy;

² Fondazione per il clima e la sostenibilità. Via G. Caproni. 50146, Florence, Italy;

³ Associazione Meteo Professionisti (AMPRO), via Francesco Morandini 30, 00142 Roma, Italy;

⁴ Institute of Bioeconomy, National Research Council (IBE-CNR), 50019 Florence, Italy;

⁵ Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence, 50144 Florence, Italy;

* a.messeri@lamma.toscana.it

Abstract

Climate change has direct effects on livestock productivity and future scenarios are not encouraging. Thus, it is crucial to develop strategies to reduce the detrimental effects of these environmental changes on livestock farms. Air temperature evaluation alone is not enough to assess the effects of the thermal environment on physiology, welfare, health, and productivity of farm animals. High humidity, in combination with high temperature, reduces the potential for evaporative heat loss. The Temperature Humidity Index represents the state of the art in the evaluation of heat stress conditions in dairy cattle. As part of the MILKLIMAT project, thermal comfort/stress conditions were monitored according to the THI index, inside some stables and in outdoor conditions in the lower and upper Mugello (Tuscany) during the summer season of 2020. Results show differences between the two geographic areas with more widespread heat stress conditions in the lower Mugello, even during night hours.

Parole chiave

Stalla, ondata di calore, benessere animale, cambiamento climatico, produzione di latte

Keywords

Stable, heat wave, animal welfare, climate change, milk production

Introduzione

La temperatura media annuale del pianeta sta crescendo a causa del cambiamento climatico (NASA 2020). Il 2021 è stato il settimo anno consecutivo nel periodo, compreso tra il 2015 ed il 2021, in cui la temperatura globale è stata di oltre 1°C al di sopra della soglia dei valori medi preindustriali (1850-1900) con il 2016, 2019 e 2020 che costituiscono i primi tre anni più caldi di sempre (WMO 2021). Questo sta determinando un aumento sostanziale della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore che con il passare degli anni divengono sempre più frequenti, precoci e persistenti. Se all'escalation delle temperature globali si aggiunge una sempre maggiore richiesta di latte per l'industria lattiero-casearia globale (Polisky and Keyeserlingk 2017), a causa del costante aumento della popolazione mondiale soprattutto nelle economie emergenti e con conseguente incremento del numero dei capi di bestiame allevati, si intuisce come lo stress da caldo stia diventando una sfida importante. Infatti, durante la fase di lattazione si osserva naturalmente negli animali un aumento del calore metabolico prodotto e tale aumento termico risulta esacerbato in caso di elevate valori di temperatura e umidità dell'aria, soprattutto negli animali di grossa mole (Chebel et al 2004). Questo è particolarmente evidente nelle

aree geografiche dove le elevate temperature persistono a lungo su valori critici durante la stagione estiva, con condizioni potenzialmente critiche estese anche a periodi primaverili o autunnali, e con contributo radiativo elevato e spesso associato anche ad alti tassi di umidità dell'aria (Schüller et al., 2014). A causa del cambiamento climatico in atto, tali condizioni si ritrovano e si ritroveranno sempre più spesso anche alle medie ed alte latitudini. A seconda della sua intensità e durata, lo stress da caldo può influire sulla salute del bestiame (Lacetera 2018), causando disfunzioni metaboliche, stress ossidativo, soppressione immunitaria, generando infezioni e di conseguenza alterando il benessere e le performance dell'animale. La sola temperatura dell'aria non è sufficiente per valutare con precisione gli effetti dell'ambiente termico sulla fisiologia, il benessere, la salute e la produttività degli animali da allevamento. Ad esempio, l'umidità elevata, in combinazione ad alta temperatura dell'aria, riduce il potenziale di perdita di calore per evaporazione; la radiazione solare aumenta il calore derivante dal processo metabolico; la ventilazione favorisce la dispersione del calore metabolico. L'indice di temperatura e umidità (THI), utilizzato per la valutazione delle condizioni di benessere/stress termico da caldo per l'uomo (Thom 1959),

pur considerando soltanto alcuni di questi parametri microclimatici, è attualmente l'indicatore più utilizzato negli animali da allevamento (Pinto et al 2020), in particolare nei bovini da latte (De Rensis et al 2015). In Toscana, il progetto MILKLIMAT, finanziato nell'ambito del programma PSR FEASR 2014-2020, ha come obiettivo quello di valutare l'impatto che le condizioni microclimatiche, ed in particolare il caldo ha sulla salute e le performance dei bovini da latte, al fine di proporre strategie di adattamento che permettano di tutelare sia il benessere animale, sempre più richiesto, sia la produttività aziendale. In questo studio vengono mostrati i risultati preliminari dei monitoraggi di THI effettuati sia in stalla che in ambiente outdoor in alcune aziende zootecniche poste in Alto e Basso Mugello, con l'obiettivo di evidenziare eventuali differenze tra aree geografiche molto vicine ma con caratteristiche sostanzialmente diverse.

Materiali e Metodi

Nel corso del primo anno di sperimentazione è stato effettuato un monitoraggio microclimatico preliminare all'interno di alcune stalle e in ambiente outdoor in alcune aziende zootecniche che svolgono allevamento prevalentemente stabulato per la produzione di latte. Tali aziende si trovano nel basso ed alto Mugello (Figura 1) con particolare riferimento ai comuni di Borgo San Lorenzo, Vicchio e Firenzuola. I parametri misurati sono stati temperatura e umidità dell'aria nel periodo compreso tra maggio e settembre.



Fig. 1. Area di studio.

Fig. 1. Study area.

8 termoigrometri "Datalogger USB" modello Xtech RHT10 con intervallo di campionamento impostato a 30 minuti sono stati installati all'interno ed all'esterno delle stalle ad una altezza di circa 2 metri (Figura 2).

Inoltre, una stazione meteorologica completa modello (HOBO U30 NRC) è stata installata in ambiente outdoor presso un'azienda zootecnica in località Luco del Mugello (Borgo San Lorenzo). Questa stazione ha permesso di misurare temperature dell'aria (°C), umidità dell'aria (%), pressione atmosferica (hPa), velocità del vento (m/sec), radiazione solare (W/m²) e temperature globotermometriche (°C).



Figura 2. Termoigrometri Xtech RHT10" installati all'interno delle stalle e stazione meteorologica completa.

Figure 2. Exttech RHT10 thermo-hygrometer located inside the dairy cow shed and meteorological station located outdoor.

L'indicatore di stress termico THI è stato calcolato su base oraria per tutte le ore del giorno e per tutto il periodo considerato secondo la seguente formula (NRC 1971, Yan et al 2021):

$$THI = (1,8 \times TA + 32) - (0,55 - 0,0055 \times RH) \times (1,8 \times TA - 26)$$

Dove:

TA= temperatura dell'aria (°C)

RH= umidità relativa dell'aria (%)

Numerose sono le soglie di THI utilizzate a livello internazionale per l'individuazione dei livelli di rischio ed in questo studio sono state impiegate quelle fornite dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali Italiano che distingue due classificazioni, la prima con soglie più basse finalizzata a tutelare la produttività, la seconda con soglie più alte per il rischio mortalità. Inoltre, ciascuna delle due classificazioni prevede soglie differenti per il periodo diurno e per quello notturno. In questo lavoro sono state impiegate le soglie a tutela della produttività. (<https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/6095>).

Risultati e Discussione

Il monitoraggio microclimatico effettuato sia all'interno delle strutture che in ambiente prettamente outdoor ha messo in evidenza importanti differenze di THI (Δ) tra il basso e l'alto Mugello (Figura 3). In particolare, le differenze maggiori sono state riscontrate in ambiente outdoor con un Δ medio pari a 2,9 ed un Δ massimo di 1,3 nel mese di settembre. Differenze minori sono state osservate all'interno delle stalle con un Δ medio e massimo di 2,2 e 9,8 rispettivamente. Il THI mensile più elevato si è verificato in ambiente outdoor nel basso Mugello con 85,5 e con 84,4 all'interno delle stalle. Durante la stagione estiva 2020 i valori di THI più elevati sono stati misurati nei mesi di luglio ed agosto, sia in stalla che all'aperto, ma anche nei mesi di maggio e settembre sono stati raggiunti valori uguali o superiori a 72 che rappresentano la soglia diurna del primo livello di rischio per la tutela della produttività secondo la classificazione adottata dal Mipaaf. Considerando tutto il periodo di rilievo, all'interno delle stalle, circa il 39,6% delle ore totali diurne sono rientrate almeno nel primo livello di rischio in basso Mugello mentre

il 28,6% in alto Mugello. Percentuali simili si sono verificate in ambiente outdoor, con il 40,2% di ore di rischio in basso Mugello ed il 29,7% in alto Mugello. Durante le ore notturne, in stalla, la situazione è ancora peggiore in basso Mugello con il 56,3% delle ore al di sopra della soglia notturna del primo livello di rischio (62), 41% in alto Mugello. Nettamente migliori sono state le condizioni termiche monitorate in ambiente outdoor durante la notte, soprattutto in alto Mugello dove soltanto il 13% delle ore è rientrata tra quelle a rischio.

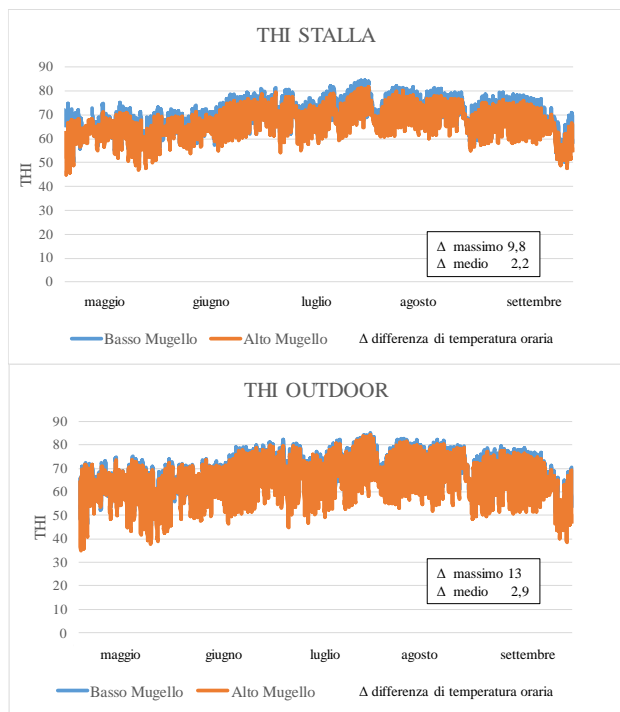


Fig. 3. THI medio orario all'interno delle stalle e in ambiente outdoor in alto e basso Mugello (maggio-settembre 2020).

Fig. 3. Average hourly THI inside dairy cow sheds and in the outdoor environment in the upper and lower Mugello (May-September 2020)

Il valore di THI medio diurno (ore 07:00-20:00) più elevato è stato invece registrato in agosto nelle stalle sempre del basso Mugello con 75,6 ($\sigma = 4,6$) (Figura 4), a seguire il mese di luglio con 74,8 ($\sigma = 4,8$). Negli stessi mesi in alto Mugello si sono invece misurati rispettivamente 73,2 ($\sigma = 4,0$) a agosto e 72,6 ($\sigma = 4,2$) a luglio con un Δ medio nel bimestre di 2,3 ($\sigma = 1,3$) tra le due aree geografiche. La situazione è stata molto simile in ambiente outdoor con 74,9 ($\sigma = 5,5$) in agosto in basso Mugello, 73,6 ($\sigma = 5,5$) in alto Mugello, con un Δ medio nel bimestre più basso e pari a 1,2.

Anche durante le ore notturne (21:00-06:00), il THI medio mensile più elevato è stato misurato nelle stalle del basso Mugello in agosto (68,9; $\sigma = 3,0$) con circa 2,6 in più (Δ) rispetto all'alto Mugello. La differenza tra le due aree geografiche tende notevolmente a aumentare (5,9; $\sigma = 3,4$) in ambiente outdoor nel bimestre luglio-agosto, e 4,6 ($\sigma = 3,8$) nel bimestre maggio-giugno. Questo è imputabile

all'elevata dispersione notturna del calore accumulato durante il giorno, fenomeno che invece viene ostacolato dalla copertura delle stalle.

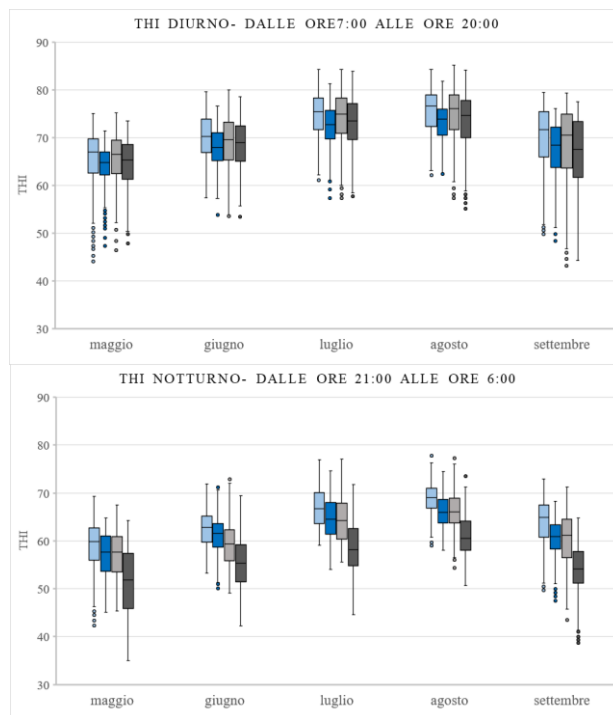


Fig. 4. Distribuzione mensile di THI nel periodo diurno e notturno (maggio-settembre 2020).

Fig. 4. Monthly distribution of THI during the daytime and in the night (May-September 2020).

Il numero di ore per classi di rischio secondo la classificazione adottata dal Mipaaf, mette anch'esso in luce alcune importanti differenze tra alto e basso Mugello, all'interno delle stalle, sia durante il periodo diurno che in quello notturno (Figura 5).

Ciò che emerge immediatamente dall'osservazione dei dati è la scarsa presenza, nel periodo diurno, della classe di rischio più elevata ($THI_{diurno} \geq 84$) che risulta addirittura assente in alto Mugello mentre si limita a 6 ore complessive nel basso Mugello, concentrate nei mesi di luglio ed agosto.

A conferma della difficoltà di dispersione del calore durante le ore notturne all'interno delle stalle, si osservi come la classe 4 ($THI_{notturno} \geq 74$) si verifica complessivamente 21 volte in basso Mugello e 4 volte in alto Mugello, sempre nei mesi di luglio ed agosto. Molto rappresentata è la classe di rischio 3 ($68 < THI_{notturno} < 74$) con 377 ore complessivamente nel basso Mugello, l'85% delle quali è concentrata nei mesi di luglio ed agosto.

Nel periodo diurno le ore tendono a diminuire anche se rimangono elevate in basso Mugello con 318 ore ($72 < THI_{diurno} < 78$) mentre in alto Mugello le ore sono soltanto 65.



Fig. 4. Numero di ore per classi di rischio produttività Mipaaf in stalla rispettivamente nel periodo diurno e notturno sia in alto che in basso Mugello (maggio-settembre 2020)

Fig. 4. Number of hours by Mipaaf productivity risk classes in the shed respectively in the daytime and in the night period both in the upper and lower Mugello (May-September 2020).

Anche nel periodo diurno la maggior parte delle ore di rischio per la classe 3 sono concentrate nei mesi di luglio ed agosto (89%). È interessante notare come nei due mesi centrali del periodo caldo (luglio ed agosto), circa il 75% delle ore diurne si trova al di sopra del primo livello di rischio (almeno livello 2) in basso Mugello, il 62% in alto Mugello. Focalizzando invece l'attenzione sul periodo notturno, tale percentuale tende ulteriormente a aumentare con oltre il 92% nel basso Mugello e l'80,4% in alto Mugello.

Questo studio preliminare rappresenta un primo passo nella valutazione delle condizioni di confort/benessere termico all'interno di stalle per l'allevamento stabulato di bovini da latte in Mugello, mettendo in evidenza differenze importanti tra aree geografiche e momenti della giornata diversi (giorno/notte). Lo studio presenta ovviamente dei limiti importanti dettati principalmente dalla durata temporale ridotta del monitoraggio e dal basso numero di aziende. Tuttavia il monitoraggio microclimatico continuerà anche nei prossimi anni, consentendo un ampliamento del dataset e verrà affiancato anche da un monitoraggio comportamentale (Herbut and Angrecka 2018) e fisiologico sull'animale (ad es. impiego di marche auricolari o radiocollari) al fine di valutarne le performance (comprese quelle produttive) in funzione delle condizioni microclimatiche presenti (Chung et al 2020). Tale approccio potrebbe permettere in futuro di sviluppare anche nuovi indicatori microclimatici specifici per i bovini da latte (Yan et al 2022). Inoltre, tale indagine potrà essere replicata

anche in altre situazioni ed aree geografiche, aumentando il numero dei monitoraggi ed estendendo quindi i casi studio anche ad altre aziende, oltre che impiegando anche altri indicatori biometeorologici di stress termico che prendano in considerazione altri parametri microclimatici come per esempio la radiazione solare ed il vento che svolgono un ruolo fondamentale nella valutazione delle condizioni di stress/benessere termico. Inoltre, l'incremento del numero di aziende monitorate, permetterebbe di rappresentare meglio la variabilità microclimatica dettata anche dalle diverse tipologie di allevamento (Beaver et al 2021), dalle caratteristiche costruttive delle stalle, come per esempio l'altezza del tetto del capannone, la sua coibentazione, oltre che la presenza di sistemi di adattamento utilizzati dalle stesse aziende per limitare lo stress termico degli animali (es spruzzatori e ventilatori) e che influiscono quindi sull'ambiente termico. Inoltre, in futuri studi potrebbe essere anche incrementato il campionamento all'interno delle stesse aziende, permettendo un monitoraggio capillare e valutando ad esempio la variabilità dell'indicatore THI a diverse altezze dal suolo ed in diversi ambienti aziendali (ad es. sala di mungitura, area di riposo, mangiatoie, ecc) oltre che valutare anche la temperatura dell'acqua di abbeverata. Oltre a questo, il rilievo dei dati microclimatici misurati all'interno delle stalle, se confrontati con i dati misurati in ambiente outdoor, in un periodo più lungo e non limitato ad una singola stagione, potrebbe permettere di individuare una correlazione utile per stimare le condizioni di stress termico in stalla in funzione delle condizioni microclimatiche presenti in ambiente outdoor.

Conclusioni

Il cambiamento climatico, unitamente alla crescente richiesta di maggiore qualità degli alimenti, oltre che all'attenzione per il benessere animale, sempre più richiesto dal consumatore, mettono in primo piano l'esigenza di conoscere in maniera approfondita le caratteristiche microclimatiche presenti nelle aziende zootecniche, al fine di tutelare sia l'allevatore, garantendo una buona produzione aziendale, sia il benessere animale, sia l'acquirente che si troverà sul mercato un prodotto di qualità nel rispetto della salute dell'animale. Conoscere le condizioni microclimatiche negli ambienti frequentati dagli animali potrà permettere l'adozione di strategie di adattamento al cambiamento climatico, come per esempio l'impiego di ventilatori o spruzzatori oltre che la progettazione di stalle sempre più efficienti da un punto di vista microclimatico, o in ipotesi estrema un cambiamento della tipologia di allevamento se possibile. Inoltre, studi di questo tipo potrebbero permettere di stimare le condizioni microclimatiche presenti all'interno delle stalle in funzione delle condizioni meteo-climatiche previste in ambiente outdoor, implementando il calcolo dell'indicatore di stress/benessere termico direttamente su modello meteorologico e correlando successivamente le condizioni previste in ambiente outdoor con quelle che potrebbero verificarsi in stalla, nell'ottica quindi di una personalizzazione dell'informazione microclimatica che, se affiancata anche alle performance produttive dell'animale,

potrebbe permettere anche di stimare la potenziale perdita di produttività sia nel breve periodo sia a livello di scenario.

Bibliografia

- NASA. RELEASE 21-005. 2020 Tied for Warmest Year on Record, NASA Analysis Shows. [Online] Available from: <https://www.nasa.gov/press-release/2020-tied-for-warmest-year-on-record-nasa-analysis-shows> [Accessed: 12th April 2021];
- WMO. 2021 one of the seven warmest years on record, WMO consolidated data shows. [Online] Available from: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows> [Accessed: 4th April 2022];
- Polsky L., von Keyserlingk M.A.G. 2017. Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, Volume 100, Issue 11, 8645-8657pp. ISSN 0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>;
- Chebel R.C., Santos I.E.P., Reynolds J.P., Cerri R.L.A., Juchem S.O., Overton M. 2004. Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 84, 239-255pp. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2003.12.012;
- Schüller L.K., Burfeind O., Heuwieser W. 2014. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology*, 81 (2014), pp. 1050-1057. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2014.01.029;
- Lacetera N. 2018. Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal frontiers: the review magazine of animal agriculture*, 9(1), 26–31pp. <https://doi.org/10.1093/af/vfy030>
- Thom E. E. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-69pp;
- De Rensis F., Garcia-Ispuerto I., Lopez Gatius. 2015. Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cow- A review. *Theriogenology* 60, 1139-1151pp. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2015.04.021;
- Pinto S., Hoffmann G., Ammon C., Amon T. 2020. Critical THI thresholds based on the physiological parameters of lactating dairy cows. *Journal of Thermal Biology*, 88, 102523. ISSN 0306-4565. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102523>;
- NRC. A Guide to Environmental Research on Animals; National Academy of Sciences: Washington, DC, USA, 1971;
- Yan, G.; Shi, Z.; Li, H. Critical Temperature-Humidity Index Thresholds Based on Surface Temperature for Lactating Dairy Cows in a Temperate Climate. *Agriculture* 2021, 11, 970. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100970>;
- Chung H., Li J., Kim J, Jennifer M.C. Van Os, Sabrina H. Brounts, Christopher Y. Choi, 2020. Using implantable biosensors and wearable scanners to monitor dairy cattle's core body temperature in real-time. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, ISSN 168-199. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105453>;
- Yan G, Zhengxiang S, Bo Cui, Hao Li, Developing a new thermal comfort prediction model and web-based application for heat stress assessment in dairy cows, 2022. *Biosystems Engineering*, 214, 72-89pp. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.12.006>;
- Piotr Herbut & Sabina Angrecka 2018. Relationship between THI level and dairy cows' behaviour during summer period, *Italian Journal of Animal Science*, 17:1, 226-233, DOI: 10.1080/1828051X.2017.1333892;
- Beaver A., Daniel M. Weary, Marina A.G. von Keyserlingk, Invited review: The welfare of dairy cattle housed in tiestalls compared to less-restrictive housing types: A systematic review, 2021. *Journal of Dairy Science*, 104(9), 9383-9417. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19609>.

EFFETTO DEL MICROCLIMA SULL'ACCUMULO DI MIELE DI CASTAGNO: PRIMI RISULTATI OSSERVATI IN UN APIARIO IN MUGELLO

EFFECT OF WEATHER PATTERNS ON CHESTNUT HONEY ACCUMULATION: FIRST RESULTS OBSERVED IN A MUGELLO APIARY

Marco Mancini ¹, Lorenzo Arcidiaco ^{3,4*}, Bianca Evangelista ¹, Dimitri Djialeu Tiako ¹, Simone Orlandini ^{1,2}, Francesco Sabatini ⁴, Chiara Grassi ¹, Anna Dalla Marta ¹, Alessandro Messeri ^{2,3}

¹ Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence, 50144 Florence, Italy;

² Fondazione per il clima e la sostenibilità. Via G.Caproni. 50146, Florence, Italy;

³ LaMMA Consortium – Weather Forecaster and Researcher at Laboratory of Monitoring and Environmental Modelling for Sustainable Development, 50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy;

⁴ Institute of Bioeconomy, National Research Council (IBE-CNR), 50019 Florence, Italy;

* arcidiaco@lamma.toscana.it

Abstract

The use of sensors is of fundamental importance for the remote sensing monitoring of apiaries because they allow not only to monitor honeybee's activity in real time but also to acquire meteorological data useful for understanding the relationship with honey accumulation. In the present study, data were obtained from an experimental station located in a Tuscany hilly area, during the lime tree and chestnut tree flowering. It has been analyzed the relationships between temperature, air humidity, precipitation, atmospheric pressure, solar radiation, wind parameters with the daily honey accumulation. The results showed that weather patterns affect honey accumulation, particularly the daily air temperature and the maximum one, the wind direction, and consecutive days without precipitation.

L'uso dei sensori è d'importanza fondamentale per il controllo da remoto degli apiari perché consentono non solo di monitorare l'attività delle api in tempo reale ma anche di acquisire dati meteorologici utili a capire le relazioni con l'accumulo di miele. Nel presente studio i dati sono ottenuti da una stazione sperimentale sita in una zona collinare della Toscana, durante la fioritura del tiglio e del castagno. Sono state analizzate le relazioni tra alcuni parametri microclimatici, in particolare temperatura e umidità dell'aria, precipitazioni, radiazione solare, vento con l'accumulo giornaliero di miele. I risultati hanno mostrato che il microclima influisce sull'accumulo di miele in particolare la temperatura dell'aria (diurna e massima giornaliera), la direzione del vento, e i giorni consecutivi senza precipitazioni.

Parole chiave

Cambiamento climatico, apicoltura, fenologia, attività mellifera

Keywords

Climate change, beekeeping, phenology, melliferous activity

Introduzione

Negli ultimi anni vari studi sperimentali e non, hanno messo in evidenza gli effetti della variabilità meteorologica e del cambiamento climatico sull'attività delle api e sulla fenologia delle piante mellifere (Rahimi et al 2021, Kammerer et al 2021, Liang Guo et al. 2013). Juknys R. e al. (2011) hanno descritto come il germogliamento di molte piante mellifere, dal 1956 al 2010, sia progressivamente anticipato fino a 13,5 giorni e come poi si ripercuota nella successiva fase di fioritura. Visser M. e al (2005) confermano un anticipo da 3 a 11 giorni in molte fasi fenologiche di specie coltivate. Dalla Marta e al. (2010) evidenziano come la fenologia della vite a Montepulciano risulti in progressivo anticipo di un giorno ogni circa 2 anni nelle fasi di germogliamento e fioritura. L'aumento della temperatura dell'aria in inverno e all'inizio della primavera ha accelerato lo sviluppo fenologico delle piante andando ad interagire con l'attività degli insetti impollinatori nei vari ecosistemi (Gemma Villagomez e al. 2021). Questo è particolarmente evidente nelle aree bioclimatiche più

sensibili come per esempio il Bacino del Mediterraneo (Flores et al 2019)

Burill e al. (1981) hanno messo in luce l'effetto della temperatura dell'aria e della radiazione solare sull'attività delle api. All'aumentare della temperatura, incrementano i numeri di voli. Lo stesso comportamento si può notare con l'aumento dell'intensità della radiazione solare a cui risponde un incremento di voli fino alla soglia di 0.66 Langley's oltre la quale invertono la tendenza.

Alcuni studi hanno dimostrato anche l'influenza delle condizioni meteorologiche sulla attività bottinatrice. Le api mellifere infatti, hanno capacità di percepire l'arrivo delle precipitazioni come evidenziato dall'accelerazione dell'attività bottinatrice nelle giornate precedenti alle piogge. Tuttavia, la pioggia influisce indirettamente sull'attività delle api, alterando la quantità e la fluidità del nettare nei fiori (Thi Nha Ngo e al 2021). Si è notato che le api raccolgono preferenzialmente il polline rispetto al nettare in periodi caldi, secchi e ventosi. In condizione di forti piogge o in condizioni di brezza leggera invece, esse tendono a ridurre di

raccolta del polline, preferendo il nettare (James Peat e al. 2005).

Lo scopo del lavoro è quello di analizzare l'effetto dei principali parametri meteorologici sull'accumulo di miele nel periodo di fioritura del tiglio e del castagno, in un'area collinare della Toscana.

Materiali e Metodi

Al fine di rilevare le condizioni microclimatiche interne all'apiario sono stati installati sensori e un *data logger* per l'acquisizione di temperatura e umidità dell'aria, radiazione solare, velocità e direzione del vento, precipitazioni, pressione atmosferica, peso dell'arnia.

La stazione sperimentale è stata locata in un'area collinare prevalentemente boscata nel comune di Scarperia e San Piero a Sieve in provincia di Firenze (Figura 1).



Fig. 1. Stazione sperimentale

Fig. 1. Exsperimental station

La fenologia di castagno e tiglio è stata seguita al fine di valutare la rispondenza degli accumuli di miele con le due principali specie mellifere per il periodo analizzato, considerando che le due fioriture sono in gran parte sovrapposte.

La stagione analizzata è stata quella del 2020 ed il periodo di bottinamento si colloca tra il 01 giugno e 04 luglio. Per ogni giorno è stato desunto l'incremento di accumulo, calcolato come differenza tra il peso al giorno "d" e il peso al giorno "d-1" registrati alle ore 21 circa, orario in cui per il periodo considerato si è osservato il picco giornaliero di peso in condizioni meteorologiche favorevoli. Tutte le variabili microclimatiche analizzate sono state ricampionate a livello giornaliero.

L'analisi statistica è stata effettuata mediante una matrice di correlazione tra tutte le *features* microclimatiche e l'incremento di peso. Tutte le elaborazioni sono state eseguite in ambiente *open source* utilizzando il software Python ed i moduli complementari orientati all'analisi statistica (Pandas, Numpy, Scipy, etc.) e alla visualizzazione (Matplotlib). Inoltre è stata implementata un'analisi tra la serie temporale relativa all'andamento dell'incremento di peso e tutte le serie temporali microclimatiche, derivandone i relativi coefficienti di Pearson e Spearman (Fig. 2).

Risultati e Discussione

La temperatura dell'aria ha mostrato in generale una buona correlazione con l'incremento di peso. In particolare la correlazione con la temperatura massima è risultata avere migliore significatività rispetto a quella media. La minima, invece, non risulta avere effetto sull'accumulo di miele. La temperatura media giornaliera, calcolata come media delle temperature orarie registrate dalle 8 am alle 8 pm ha mostrato correlazione migliore rispetto alla massima. Tuttavia la temperatura massima può essere considerata un ottimo descrittore per la valutazione delle condizioni idonee all'accumulo di miele ove non fosse disponibile quella diurna giornaliera.

Le precipitazioni ed il numero di giorni consecutivi di pioggia risultano negativamente correlati all'accumulo di miele, al contrario i giorni secchi consecutivi mostrano una correlazione positiva e sembrano essere il miglior descrittore fra gli indici pluviometrici.

Anche radiazione solare e pressione atmosferica risultano positivamente correlate. Occorre considerare che tali variabili meteorologiche sono strettamente connesse all'andamento pluviometrico. Per quanto riguarda il vento, l'intensità risulta non correlata all'accumulo di miele mentre la direzione mostra una correlazione positiva. La mancanza di correlazione con l'intensità può essere spiegata da più fattori, tra i quali la mancanza di sufficienti giorni con differenti velocità del vento e l'effetto di diluizione dovuto alla media fatta con valori diurni e notturni (normalmente la notte presenta una minore intensità di vento). Tra le cause da ricercare possiamo considerare anche un effetto inibizione del volo che si ha raggiunta una certa soglia di vento.

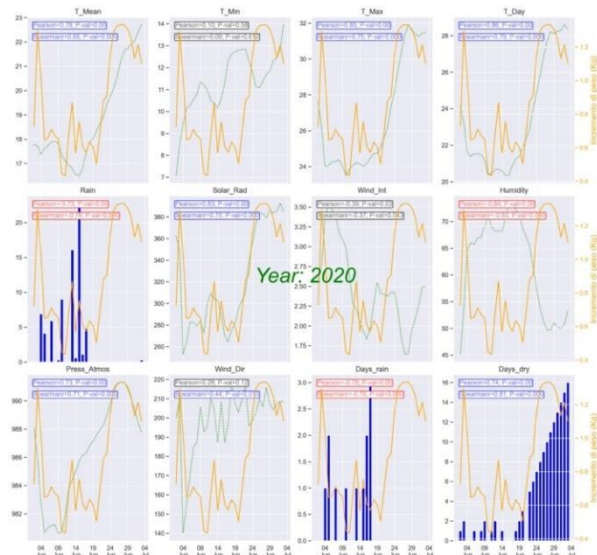


Fig. 2: Correlazione tra variabili meteorologiche giornaliere e accumulo di miele

Fig. 2: Correlation between the daily weather variables and the honey accumulation.

Per la direzione del vento occorre considerare che tale fattore è associato ad un “tipo di tempo”, ossia all’istaurarsi di un tipo di circolazione atmosferica. Normalmente l’avvezione di masse d’aria settentrionali è rispondente a diminuzione della temperatura e dell’umidità dell’aria e quindi all’istaurarsi di condizioni sfavorevoli all’attività di bottinamento delle api. L’umidità dell’aria risulta inversamente correlata all’accumulo di miele.

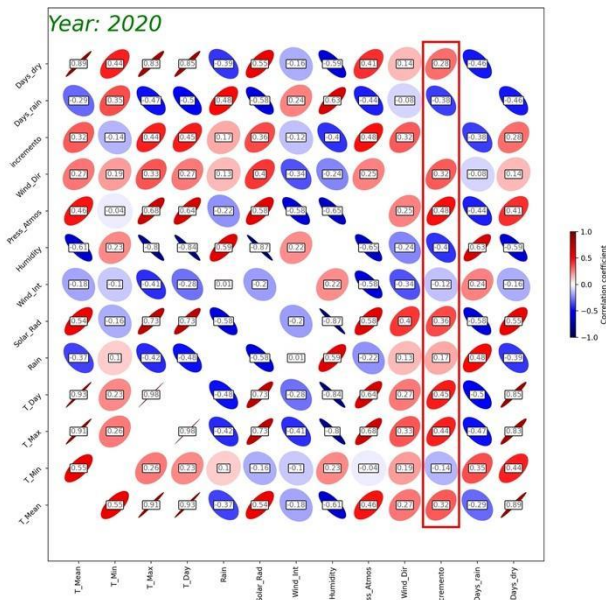


Fig. 3. Matrice di correlazione fra tutte le variabili considerate
 Fig. 3. Correlation matrix between all the considered variables.

Conclusioni

Il microclima, ed in particolare temperatura diurna e massima dell’aria, direzione del vento, radiazione solare e gli indici di giorni consecutivi senza precipitazioni hanno mostrato correlazioni dirette sull’attività di bottinamento delle api. Il principale punto di forza della metodologia proposta è rappresentato dal tentativo di migliorare l’approccio conoscitivo del complesso sistema che vede l’interazione di pianta, insetto, uomo e clima. Il microclima influisce infatti sia sull’attività mellifera delle piante che sull’attività bottinatrice delle api. In questo complesso sistema si inserisce l’apicoltore che periodicamente interviene sull’apiario andando ad influenzare il peso monitorato. I limiti dello studio sono rappresentati dalla ridotta numerosità del campione sia per quanto riguarda il numero di apiari studiati, la loro distribuzione sul territorio oltre che la limitata serie temporale. Inoltre sarebbe opportuno affiancare all’analisi effettuata anche un monitoraggio fenologico delle principali specie mellifere contemporanee a castagno e tiglio. L’analisi di altre serie di dati acquisiti in ulteriori anni o differenti ambienti consentirà di comprendere meglio, oltre

alle relazioni fra parametri microclimatici e accumulo di miele, anche le soglie critiche di temperatura dell’aria, vento, pioggia, radiazione solare e umidità relativa che influenzano l’attività dell’ape, la produzione di nettare da parte della pianta e la fluidità del nettare. Tutto questo nell’ottica in futuro di adottare strategie di adattamento al cambiamento climatico in ambito delle produzioni zootecniche che permetta sia la tutela della produzione, e quindi dell’allevatore, sia il benessere degli animali.

Ringraziamenti

Attività in parte svolte nell’ambito dei progetti sottomisura 16.2 “NOMADIAPP”, PSR 2014/2020 Regione Toscana e “BEEWIN” “bando Miele” 2021 del MIPAAF. Si ringrazia l’Associazione Regionale Produttori Apistici Toscani per la collaborazione continua e costante e Duccio Pradella, apicoltore, per i preziosi suggerimenti sull’interpretazione del comportamento delle api.

Bibliografia

Burrill R. M., Dietz, 1981. The response of honeybees to variations in solar radiation and temperature, *Apidologie* Vol 12, 1981), 319-328, <https://doi.org/10.1051/apido:19810402>

Dalla Marta A., Grifoni D., Mancini M., Storchi P., Zipoli G., & Orlandini S. (2010). Analysis of the relationships between climate variability and grapevine phenology in the Nobile di Montepulciano wine production area. *The Journal of Agricultural Science*, 148(6), 657-666. doi:10.1017/S0021859610000432

Flores J.M., Gil-Lebrero S., Gámiz V., Rodríguez M.I., Ortiz M.A., Quiles F.J., 2019. Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. *Sci Total Environ.* 25, 653:1111-1119pp. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.004. Epub 2018 Nov 3. PMID: 30759551

Kammerer M., Goslee S. C., Douglas M. R., Tooker J. F., Grozinger C. M., 2021. Wild bees as winners and losers: Relative impacts of landscape composition, quality, and climate. *Global Change Biology.* DOI: 10.1111/gcb.15485.

James P., and Goulson D., 2005. “Effects of Experience and Weather on Foraging Rate and Pollen versus Nectar Collection in the Bumblebee, *Bombus Terrestris*.” *Behavioral Ecology and Sociobiology* vol 58, no. 2, 152–56. <http://www.jstor.org/stable/25063598>

Juknys, R., Sujetoviene, G., Zeimavicius, K., & Gustainyte, J. (2011). Effects of climate warming on timing of lime (*Tilia cordata* L.) phenology. In *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE (Vol. 8, p. 139. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property*

Liang Guo, Junhu Dai, Sailesh Ranjitkar, Jianchu Xu, Eike Luedeling (2013) Response of chestnut phenology in

- china to climate variation and change. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 180,164-172, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.06.004>
- Nha Ngo T., Jeric D., Rustia A., Yang E., Lin T., (2021), Automated monitoring and analyses of honeybee pollen foraging behavior using a deep learning-based imaging system, *Computers, and electronics in Agriculture*, vol 187, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106239>
- Rahimi, E., Barghjelveh, S. & Dong, P. 2021. Estimating potential range shift of some wild bees in response to climate change scenarios in northwestern regions of Iran. *J ecology environ* 45, 14. <https://doi.org/10.1186/s41610-021-00189-8>
- Villagomez G., Numberger F., Requier F., Schiele S., Steffan-Dewenter I., 2021. Effects of temperature and photoperiod on the seasonal timing of western honeybee colonies and an early spring flowering plant. *Ecol Evol*, 7 ;11(12) :7834-7849. Doi: 10.1002/ece3.7616
- Visser M. E. and Both C., 2005. Shifts in phenology due to global climate change : the need for a yardstick. *Proc. The Royal Society*. B.2722561–2569 <http://doi.org/10.1098/rspb.2005.3356>.

UN MODELLO NUMERICO DI PREVISIONE DEGLI EFFETTI DELLO STRESS DA CALDO SULLA PRODUZIONE DI LATTE IN ALLEVAMENTI BOVINI A PARTIRE DA DATI CLIMATICI

A NUMERICAL MODEL TO PREDICT THE EFFECTS OF HEAT STRESS ON MILK PRODUCTION IN CATTLE FARMS ON THE BASIS OF CLIMATIC PARAMETERS

Stefano Benni*, Miki Agrusti, Marco Bovo, Alberto Barbaresi, Mattia Ceccarelli, Enrica Santolini, Daniele Torreggiani, Patrizia Tassinari

¹ Università di Bologna, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari DISTAL, Viale G. Fanin 48 – 40127 Bologna (Italia)

* stefano.benni@unibo.it

Abstract

Weather conditions play a crucial role in dairy cattle farming, in particular for what concerns the onset of harmful heat conditions during the warm season. Cows are highly sensitive to hot-humid climates, rather than cold ones, and several issues related to animal welfare, milk production, and reproduction performances arise when temperature and humidity overpass the heat stress threshold. Nevertheless, the response is diversified for each animal, depending on genotypic and phenotypic factors. This study aims at defining a numerical model based on machine learning techniques, adopting a Random Forest algorithm, capable of assessing the trend in daily milk yield of individual cows in relation to the climatic parameters.

The research was developed within the EIT Food European project DAIRYSUST “Big data and advanced analytics for sustainable management of the dairy cattle sector”.

Parole chiave: Monitoraggio, Bovine da latte, Indice termoisometrico, Prestazioni produttive, Benessere animale

Keywords: Monitoring, Dairy cattle, THI, Milk yield, Animal welfare

Introduzione

Le condizioni climatiche rivestono un'importanza fondamentale per il benessere animale negli allevamenti zootecnici e per questo i parametri ambientali vengono monitorati e i dati acquisiti impiegati in procedure di zootecnia di precisione (Halachmi et al., 2019) finalizzate ad ottimizzare le condizioni di stabulazione degli animali. Nell'allevamento bovino da latte le condizioni termoisometriche presentano chiari effetti sulle prestazioni produttive delle vacche in lattazione (Heinicke et al., 2021), con esiti diversificati per i vari animali (Bonora et al., 2018). Tale circostanza appare ulteriormente rilevante nell'attuale scenario di cambiamento climatico. È stato riscontrato che le caratteristiche relative alle singole vacche e il livello di discomfort termico a cui sono sottoposte contribuiscono in modo determinante allo sviluppo di modelli predittivi basati sulla vulnerabilità degli animali allo stress da caldo (Benni et al., 2020). I metodi di statistica applicata utilizzati in letteratura (Piweczyński et al., 2020) hanno mostrato che la frequenza delle mungiture, il numero di parti, il mese di mungitura e le caratteristiche dell'area di riposo rappresentano importanti fattori nella produzione mensile di latte delle vacche da latte. In questo contesto, gli algoritmi di Machine Learning (ML), già impiegati nella ricerca in tema di zootecnia di precisione con finalità anche predittive, rappresentano uno strumento promettente per lo sviluppo e il miglioramento di sistemi di supporto alle decisioni per gli allevatori (Cockburn, 2020), al fine di incrementare le rese in latte e il benessere degli animali, riducendo al contempo le risorse necessarie e aumentando così la sostenibilità del settore.

Sono necessarie ulteriori ricerche per determinare come gli elementi che influenzano il benessere degli animali e le prestazioni delle lattifere possano essere messi in relazione con le condizioni interne della stalla. A tal fine, il

monitoraggio continuo e in tempo reale degli animali e dei parametri ambientali in una stalla contribuisce alla comprensione delle condizioni di benessere delle singole bovine (Bovo et al., 2020), in quanto può fornire preziose informazioni per la gestione dell'allevamento e la prevenzione di problemi legati alla salute, alla produttività delle vacche e alla qualità del latte.

Il presente studio si propone di definire, addestrare e testare un modello sviluppato attraverso tecniche di machine learning e, in particolare, adottando un algoritmo Random Forest (RF), avente come obiettivo principale quello di prevedere l'andamento della produzione giornaliera di latte delle singole vacche in relazione alle condizioni ambientali.

Materiali e Metodi

Il modello è stato sviluppato sulla base dei dati su 91 vacche in lattazione, raccolti in un allevamento dotato di un robot di mungitura e due sensori termoisometrici che hanno acquisito dati ambientali durante gli anni 2016 e 2017. L'allevamento si trova in Italia, in comune di Budrio, a circa 15 km a NE di Bologna. L'edificio ha pianta rettangolare lunga 51 m e larga 23 m, con asse longitudinale orientato SO-NE, altezza di colmo di 8,52 m, e altezze di gronda di 4,95 m sul lato NO e 6,65 m sul lato SE. Si compone di un'area adibita a fienile sul lato SE, una zona di riposo nella zona centrale dell'edificio e una corsia di alimentazione, affiancata da corsia di foraggiamento, sul lato NO (Fig. 1). La zona di riposo ha pavimento parzialmente fessurato e ospita 78 cuccette con lettiera in paglia. Nella parte centrale della zona di riposo si trovano due file di cuccette testa a testa, mentre un'altra fila corre lungo l'intera lunghezza della stalla in prossimità del fienile. La mungitura viene eseguita dal robot di mungitura “Astronaut A3 Next” (Lely, Maassluis, Paesi Bassi) posizionato all'estremità sud-ovest della stalla. La ventilazione meccanica è controllata da tre destratificatori a

cinque pale orizzontali azionati da un sensore di temperatura-umidità situato al centro della stalla a circa 3 m di altezza.

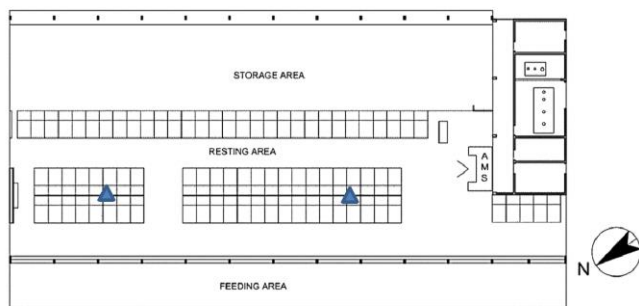


Fig. 1 - Pianta della stalla (sopra) e immagine fotografica (sotto) della zona di mungitura, riferite al caso studio. I triangoli nella pianta rappresentano i termoigrometri per l'acquisizione dei dati, posizionati a 1m di altezza

Fig. 1 - Plan layout of the cattle barn (above) and picture of the milking area (below). Triangles indicate the temperature-humidity sensors, placed at 1m height

I dati di tutte le mungiture registrati dal robot sono stati acquisiti in un dataset, insieme all'identificativo di ciascuna vacca e al relativo giorno di lattazione. Il set di dati è stato quindi filtrato eliminando gli eventi eccezionali (ad esempio, la produzione giornaliera di latte di vacche con mastite o altri fattori che possono influenzare la produzione in maniera anomala).

Il modello statistico impiegato per determinare l'effetto delle condizioni climatiche sulla produzione di latte a livello della singola bovina ha la seguente formulazione generale:

$$y_{i,j} = DIM_{i,j} + THI_j + THI_{j-1} + THI_{j-2} + THI_{j-3} + THI_{j-4} + THI_{j-5} + e_{i,j} \quad (1)$$

dove:

- $y_{i,j}$ è la produzione giornaliera della vacca i al giorno j ;
- $DIM_{i,j}$ denota il numero di giorni in lattazione della vacca i al giorno j ;
- THI_j è l'indice termoigrometrico al giorno j ;

- e_{ij} rappresenta l'effetto residuo random, la cui distribuzione è stata assunta a priori $N(0, s_e^2)$, dove s_e^2 è la varianza residua.

Per la precisione, diversi modelli statistici sono stati testati anche considerando un periodo più lungo, a partire da 10 giorni prima del giorno di test. Il periodo è poi stato gradualmente ridotto a 5, rimuovendo un giorno alla volta con il valore dell'errore relativo medio che è rimasto pressoché invariato (differenze inferiori a circa 0,1%). Solo con la rimozione del valore THI del quinto giorno prima del test l'errore medio è aumentato in modo significativo, portando così alla decisione di considerare un periodo precedente di 5 giorni rispetto al giorno in esame.

La tecnica Random Forest, un metodo di machine learning che fornisce previsioni calcolando la media delle previsioni offerte da numerosi modelli casuali separati, è stata utilizzata per eseguire l'analisi di regressione sui dati acquisiti. In questo lavoro, l'algoritmo è stato adottato per scopi di regressione utilizzando la libreria Scikit-Learn di Python per stabilire il modello di Random Forest che meglio si adatta ai valori dei dati di ciascuna vacca.

Un vantaggio significativo delle RF è la possibilità di assegnare un punteggio a ciascuna caratteristica che compone l'input del modello statistico. I punteggi sono rappresentativi dell'importanza delle diverse caratteristiche nell'output del modello (cioè la previsione). Una funzione della citata libreria permette agli utenti di produrre la classifica delle caratteristiche e la valutazione dei vari punteggi.

Due dei parametri più importanti per l'applicazione delle RF sono la dimensione di ciascun albero (ovvero il numero di nodi) e il numero di alberi adottati. Se i parametri sono troppo numerosi possono comparire problemi di overfitting, mentre se i valori sono in numero insufficiente per la complessità dei dati, il modello non è in grado di convergere verso una soluzione adeguata. In questo lavoro è stato adottato un criterio di autoespandibilità: si è ipotizzato che il numero di nodi si espanda automaticamente quando il numero di campioni è maggiore di 2, mentre il numero di alberi è stato posto pari a 1000.

Per prevedere gli effetti dello stress da caldo a livello di una singola vacca, sono state utilizzate sette diverse variabili predittive come dati di input per l'algoritmo RF e dal dataset riferito a ciascun animale è stata estratta una parte contenente l'80% dei dati per la fase di addestramento, mentre la parte restante è stata impiegata per la fase di test.

Risultati

Il modello Random Forest è stato utilizzato per prevedere i quantitativi giornalieri di produzione di latte in relazione alle variabili predittive identificate. Le precisioni dei risultati relativi alle singole vacche sono state calcolate e i valori mediani delle previsioni svolte sono riportate in Fig. 2. La figura evidenzia che per le 91 vacche considerate nello studio, con un periodo di acquisizione dei dati superiore a 100 giorni, la precisione mediana per i diversi animali varia tra il 62% e il 91%. Per l'81% degli animali considerati, la

precisione mediana è superiore al 75%. Per quanto riguarda l'errore relativo Er , per l'80% degli animali esso è compreso nel range $\pm 10\%$ (Fig. 3), con un valore medio su tutte le vacche pari a 1.85%. Ciò significa che, sommando la resa giornaliera di ciascuna vacca per i giorni considerati nella fase di test (68 giorni in media), l'errore relativo complessivo nella valutazione della produzione totale di latte è inferiore al 2%.

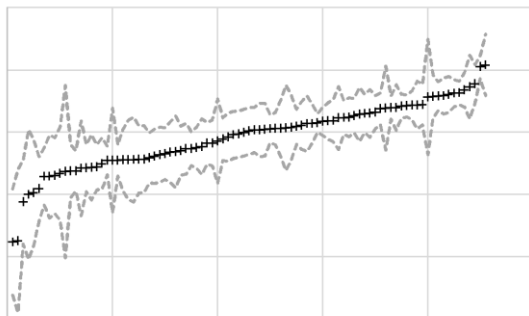


Fig. 2 - Precisione mediana \pm deviazione standard delle 91 vacche considerate nello studio. I valori sono rappresentati in ordine crescente

Fig. 2 – Median accuracy \pm standard deviation for each of the 91 cows of the study. The values are sorted ascendingly

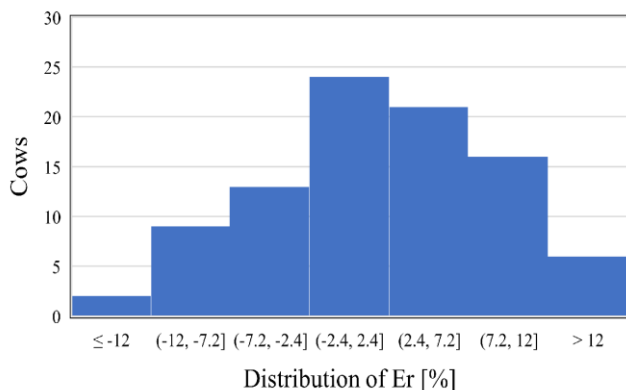


Fig. 3 - Distribuzione dell'errore relativo Er delle previsioni nella fase di test

Fig. 3 - Distribution of the relative error Er of the daily yields over the test days

Il diagramma a boxplot dei diversi punteggi di importanza risultanti per le variabili predittive è riportato in Fig. 4, per l'intero dataset riferito alle 91 vacche esaminate. Il DIM ha i punteggi di importanza più alti, con un peso mediano di 0.29, il che conferma la nota influenza dell'andamento della curva di lattazione sulla quantità di latte prodotto con il procedere dei giorni dal parto. A seguire, THI_0 , ovvero il THI medio della giornata da prevedere, ha un punteggio mediano di pari a 0.13, il che evidenzia l'importanza, sulla produzione di latte, delle condizioni climatiche del giorno stesso della mungitura considerata. Le altre variabili (THI_{1-THI_5})

invece hanno punteggi medi fra loro confrontabili, che vanno da 0.093 a 0.11, il che denota che anche le condizioni climatiche nei cinque giorni precedenti hanno un effetto tutt'altro che trascurabile. Inoltre, la variabile con il più alto valore del punteggio mediano, DIM, è influenzata dalla più alta variabilità nei valori del punteggio stesso, ovvero presenta i valori più alti di Coefficiente di Variazione (CoV).

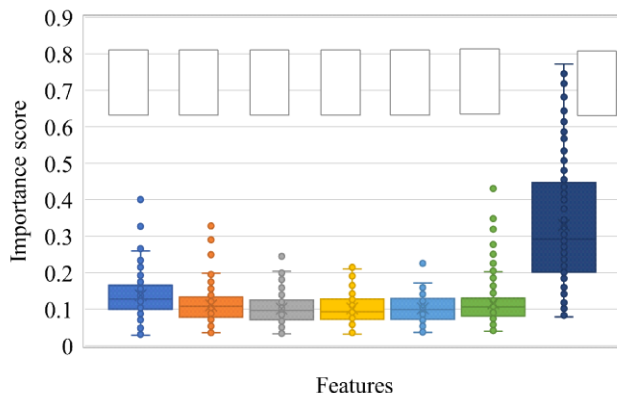


Fig. 4 - Boxplot dei punteggi di importanza delle diverse variabili considerate nel modello RF

Fig. 4 - Boxplot diagram of the importance score of the different features for the whole dataset

Conclusioni

Lo studio ha sviluppato l'obiettivo di definire e testare un modello basato su Random Forest per la previsione della produzione giornaliera di latte a livello di singola vacca, in considerazione delle condizioni climatiche. Il modello è stato applicato ai dati raccolti nel biennio 2016 e 2017 in una stalla dell'area pianiziale bolognese e ha previsto l'acquisizione sia dei dati produttivi memorizzati dal robot di mungitura, sia dei dati ambientali registrati da due sensori termo-igrometrici. Il modello statistico utilizzato per l'interpretazione dei dati raccolti ha preso in esame sette variabili predittive: il giorno di lattazione della vacca, il THI medio giornaliero del giorno della valutazione e quelli degli ultimi cinque giorni. I risultati del documento hanno mostrato che il modello è in grado di rilevare il calo della produzione di latte di una specifica bovina a causa di condizioni di caldo elevato che inducono effetti di stress. Infatti, l'errore relativo medio fornito dal modello nelle previsioni, è di circa il 18% per una specifica resa giornaliera, mentre diventa appena del 2% se si considera la produzione totale di latte nei giorni in cui il modello è stato testato. I risultati confermano che il modello RF sviluppato può rappresentare uno strumento affidabile e praticabile per la valutazione degli scenari produttivi futuri delle vacche da latte in presenza di effetti di stress termico. Ciò rientra in una fase del progetto di innovazione europeo EIT Food DAIRYSUST volta a formulare modelli numerici da tradurre in algoritmi per sviluppare sistemi di supporto alle decisioni per gli allevatori, che li mettano in condizione di aumentare sia la produzione di latte che il benessere animale e, sotto un

altro punto di vista, di ridurre le risorse necessarie, contribuendo così anche ad aumentare la sostenibilità del settore lattiero-caseario.

Ringraziamenti

Lo studio descritto è parte del progetto europeo EIT Food “DAIRYSUST: Big data and advanced analytics for sustainable management of the dairy cattle”, rif. n. 21117, Business Plan 2021-2022.

Bibliografia

- Benni, S., Pastell, M., Bonora, F., Tassinari, P., & Torreggiani, D. (2020). A generalised addictive model to characterise dairy cows' responses to heat stress. *ANIMAL*, *14*, 418–424. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001721>
- Bonora, F., Pastell, M., Benni, S., Tassinari, P., & Torreggiani, D. (2018). ICT monitoring and mathematical modelling of dairy cows performances in hot climate conditions: a study case in Po valley (Italy). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, *20*(Special issue: Animal Housing in Hot Climate), 1–12.
- Bovo, M., Benni, S., Barbaresi, A., Santolini, E., Agrusti, M., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2020). A Smart Monitoring System for a Future Smarter Dairy Farming. *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, MetroAgriFor 2020 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277547>
- Cockburn, M. (2020). Review: Application and prospective discussion of machine learning for the management of dairy farms. In *Animals*. <https://doi.org/10.3390/ani10091690>
- Halachmi, I., Guarino, M., Bewley, J., & Pastell, M. (2019). Smart Animal Agriculture: Application of Real-Time Sensors to Improve Animal Well-Being and Production. In *Annual Review of Animal Biosciences* (Vol. 7, pp. 403–425). <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-020518-114851>
- Heinicke, J., Ott, A., Ammon, C., & Amon, T. (2021). Heat Load-Induced Changes in Lying Behavior and Lying Cubicle Occupancy of Lactating Dairy Cows in a Naturally Ventilated Barn. *Annals of Animal Science*, *21*(4), 1543–1553. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0113>
- Piwczyński, D., Sitkowska, B., Kolenda, M., Brzozowski, M., Aerts, J., & Schork, P. M. (2020). Forecasting the milk yield of cows on farms equipped with automatic milking system with the use of decision trees. *Animal Science Journal*. <https://doi.org/10.1111/asj.13414>

RILEVAMENTO DELL'INTENSITA' DI PASCOLAMENTO ATTRAVERSO L'INTEGRAZIONE DI DIVERSE TECNOLOGIE INNOVATIVE: UN'APPLICAZIONE NEGLI APPENNINI

GRAZING INTENSITY DETECTION BY INTEGRATING DIVERSE INNOVATIVE TECHNOLOGIES: AN APPLICATION IN THE APPENNINES

Laura Stendardi^{1*}, Chiara Aquilani¹, Giovanni Argenti¹, Edoardo Bellini¹, Marco Bindi¹, Riccardo Bozzi¹, Andrea Confessore¹, Camilla Dibari¹, Marco Moriondo², Lapo Nannucci¹, Gloria Padovan¹, Carolina Pugliese¹, Nicolina Staglianò¹

¹ University of Florence, Department of Agriculture, food, environment, and forestry (DAGRI)

² CNR IBE, via Madonna del Piano 10, 50019 Florence, Italy

*laura.stendardi@unifi.it

Abstract

The rational use of the pastoral resource plays a key role in the conservation of extensive grazing systems, enhancing the marginal areas of the Apennines. Therefore, it is a priority to establish new forms of grazing animals management avoiding over- or undergrazing detrimental effects. Innovative technologies, such as virtual fences and ear tags, allow to manage and monitor animal movements and behaviour. These tools, integrated with time series of multi-sensor satellite data, allow the control of livestock, optimizing the balanced exploitation of pastoral areas. Our study is developed within the VISTOCK project (<https://vistock.toscanallevatori.it/>), supported by the GAL START TOSCANA, and involves the integrated use of precision livestock tools and satellite time series processed on Google Earth Engine to define animal utilization intensity on pastures through the establishment of grazing thresholds.

Parole chiave:

Virtual fencing, pascolamento, risorse pastorali, strumenti di precisione, telerilevamento satellitare

Keywords:

Virtual fencing, grazing, pastoral resources, precision tools, satellite remote sensing

Introduzione

L'uso razionale della risorsa pascoliva gioca un ruolo chiave nella conservazione dei sistemi pastorali di tipo estensivo e semi-estensivo (Bernués et al., 2011). Inoltre, le praterie nelle aree montane e marginali forniscono un'ampia varietà di servizi ecosistemici (tutela del paesaggio, protezione del suolo, stoccaggio di carbonio ecc.), in aggiunta alla produzione (Kampmann et al., 2008). Negli Appennini, i sistemi di silvo-pastorali estensivi stanno affrontando una graduale riduzione della intensità di sfruttamento della risorsa foraggera e talvolta l'abbandono. Per gestire con successo questi ecosistemi, è importante definire il corretto carico animale del bestiame valutando la produttività e l'intensità di utilizzo in funzione dell'offerta foraggera del pascolo (Argenti et al., 2020). A tal fine, svolgono un ruolo cruciale l'utilizzo di nuove tecnologie che consentono da un lato una gestione più razionale del pascolo, ottimizzando lo spostamento degli animali, dall'altro di definire l'offerta foraggera in termini di produttività e qualità durante la stagione. Una nuova tecnologia, nota come Virtual Fencing (VF), consente agli allevatori di poter delimitare le sezioni in cui effettuare il pascolamento tramite recinti virtuali definiti in remoto (Bishop-Hurley et al., 2007). Il contenimento degli animali al loro interno è garantito da collari GPS i quali, nel momento in cui gli animali sono in prossimità della recinzione virtuale, emettono uno stimolo accoppiato (prima un suono ad intensità crescente, seguito, se necessario, da un lieve impulso elettrico), dissuadendo così ad oltrepassarla.

Allo stesso tempo, le immagini satellitari, rese disponibili anche dal programma Copernicus, forniscono un importante contributo nel settore agronomico. Data la grande offerta di immagini satellitari ad oggi disponibili, sono state sviluppate piattaforme, come ad esempio Google Earth Engine (GEE), per una elaborazione dei dati veloce, semplice e molto potente (Gorelick et al., 2017). GEE permette, infatti, l'analisi di dati telerilevati, sfruttando un grande catalogo online di prodotti satellitari già pre-processati. L'utilizzo combinato e complementare di strumenti innovativi di gestione con informazioni ottenute da dati satellitari offre un'opportunità senza precedenti per una migliore gestione del pascolo anche nelle regioni montane. Infatti, per massimizzare gli effetti positivi del pascolo turnato con il VF, la scelta dell'area di pascolo dovrebbe basarsi sull'effettiva disponibilità di biomassa in funzione della fase fenologica e dello stato della vegetazione (Perotti et al., 2018). Il progetto VISTOCK (<https://vistock.toscanallevatori.it/>), sostenuto da GAL START TOSCANA, prevede l'uso integrato di tecnologie innovative per la gestione delle mandrie al pascolo, collari VF e marche auricolari, e di strumenti per la stima della risorsa pascoliva. All'interno di questo progetto, il nostro studio ha come finalità generale la definizione dell'intensità di prelievo degli animali sfruttando in modo integrato tecnologie innovative per la gestione degli animali al pascolo e per la stima della biomassa foraggera. Nello specifico l'obiettivo è quello di ottenere soglie di intensità di

pascolamento da serie temporali satellitari, sfruttando e validando i risultati grazie alle informazioni ottenute da strumenti di precision livestock.

Materiali e Metodi

Area di studio: L'indagine si è svolta presso un'azienda agricola nel comune di Borgo San Lorenzo (FI). L'azienda alleva bovini da carne di razza Limousine seguendo linea vacca-vitello e presenta una superficie di circa 700 ettari, a circa 200 mt di altitudine, dedicati a cereali, foraggiere e colture ortive. Nello specifico le aree di test hanno riguardato un pascolo recentemente seminato, dominato dalla presenza delle specie appartenenti alle famiglie delle graminacee e delle leguminose solitamente più diffuse nei miscugli commerciali, come *Lolium* sp., *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus*, assieme a specie erbacee spontanee appartenenti ad altre famiglie (Fig.1). Durante il corso della prova, l'area di studio è stata pascolata da 15 vacche gravide di razza Limousine, di età compresa tra i 4 ed i 13 anni su una superficie di circa 20 ha di pascolo.



Fig. 1 Area di studio
Fig. 1 Study area

Dataset: Le posizioni degli animali provenienti dal sistema GPS di cui sono dotati i collari VF (NoFence, AS) sono state utilizzate per tracciare il movimento degli animali al pascolo in tempo reale (ogni minuto). Inoltre, ad ogni animale, sono state applicate delle marche auricolari (SenseHub beef, SCR engineers) che, tramite un sistema di antenne wireless direttamente collocate sul pascolo, hanno consentito il monitoraggio in tempo reale dello stato di salute e di benessere degli animali. Per quanto riguarda i dati telerilevati, sono state utilizzate serie temporali di immagini del sensore Multi Spectral Instrument (MSI) montato sui satelliti Sentinel-2 (S-2); Tali prodotti sono stati analizzati attraverso la piattaforma GEE: 29 immagini S-2A e 2B, livello 2-A (COPERNICUS/S2_SR) riferiti al periodo Marzo - Settembre 2021.

Metodologia: L'effettiva area di pascolamento è stata determinata dalle posizioni degli animali (rilevate tramite le posizioni del GPS dei collari VF) al netto delle aree di abbeverata e le zone di ombra nelle quali gli animali solitamente usano sostare durante le ore più calde del giorno. Sono stati quindi selezionati dalle marche auricolari gli intervalli temporali relativi alle fasi registrate come "EATING", ovvero di effettivo pascolamento (Fig. 2).

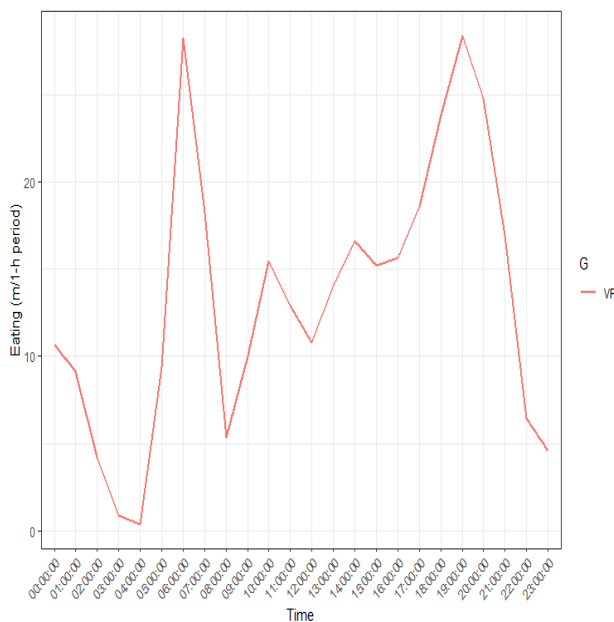


Fig. 2 – Andamento medio dell'intera mandria di attività di "Eating" su base oraria come rilevati dalle marche auricolari. Gli intervalli selezionati, corrispondono a quelli di maggiore attività: 05:00 - 07:00, 08:00 - 10:00, 12:00 - 14:00 e 16:00 - 19:00.

Fig. 2 The graph represents the average "Eating" activity, on an hourly basis. The intervals selected, correspond to those of highest activity: 05:00 - 07:00 a.m., 08:00 - 10:00 a.m., 12:00 - 2:00 pm and 4:00 - 7:00 p.m.

Le immagini satellitari sono infine filtrate in base alla percentuale di nuvolosità presente nel periodo considerato (massimo del 40%), mascherando i pixel con presenza di nuvole e calcolando l'indice NDVI (Rouse et al., 1973) per l'intera serie temporale. In base alla presenza degli animali in una determinata unità di tempo ottenuta dai collari VF, nello specifico dal 20-04-2021 al 27-04-2021, sono stati definiti periodi di pre- e post-pascolamento attraverso l'utilizzo di una o più immagini nell'arco di tempo precedente e successivo alla presenza degli animali. Successivamente, per ciascun periodo, è stata calcolata la differenza relativa di NDVI fra le immagini di pre- e post-pascolamento utilizzando la Formula 1:

$$1) dNDVI, a = (bNDVI - aNDVI) / (bNDVI)$$

dove dNDVI, rappresenta la differenza relativa di NDVI, bNDVI la media dell'indice NDVI pre-pascolamento e aNDVI la media dell'indice NDVI post-pascolamento. Infine, dopo aver calcolato la distribuzione nell'area di test dei valori dNDVI, sono state applicate delle soglie per definire l'intensità di pascolamento secondo la seguente suddivisione: superfici non pascolate (valori $< 0 = a$), superfici a bassa intensità di pascolamento (valori da 0.01 a 0.02), medio bassa (valori da 0.02 a 0.4), media (valori da 0.04 a 0.08), medio alta (valori da 0.08 a 0.1), ed alta intensità di pascolamento (valori oltre lo 0.1).

Risultati

Nella Tabella 1 sono riportate le immagini utilizzate S-2 utilizzate per il calcolo dell'indice NDVI nel periodo di pascolamento. La scarsità di immagini del periodo post-pascolamento, causata dalla elevata presenza di nuvole, e la presenza di pixel nuvolosi nell'immagine immediatamente successiva al pascolamento, ha determinato la necessità di analizzare un arco temporale più ampio del periodo di acquisizione inserendo una seconda immagine riferita al 28-05-2021.

Tab.1 – Immagini Sentinel-2 utilizzate per calcolare l'intensità di pascolamento –

Tab.1 - Sentinel-2 images used to calculate grazing intensity

ID	Date	Level	Cloud cover (%)
20210408T100549_20210408T101148_T32TPP	08-04-2021	2A	14.24
20210503T101021_20210503T101812_T32TPP	03-05-2021	2A	29.57
20210528T100559_20210528T101818_T32TPP	28-05-2021	2A	5.94

L'istogramma delle frequenze in Fig. 3 mostra i valori di differenza relativa dell'indice NDVI tra i due periodi selezionati. Dal grafico della distribuzione si evince che la maggior parte dei pixel ha un valore di NDVI relativo inferiore o uguale a 0. Questo potrebbe significare la mancanza di prelievo della risorsa foraggera da parte degli animali. Al contrario, incrementando i valori della differenza relativa di NDVI è possibile ipotizzare un incremento del prelievo della copertura erbacea nei pixel evidenziati.

In Fig.4 sono i risultati ottenuti utilizzando le posizioni GPS degli animali (a destra della figura), filtrate con le marche auricolari in base al periodo di "eating". A sinistra della

figura sono invece illustrate le soglie di pascolamento definite in base alla differenza relativa di NDVI.

In entrambe le mappe è possibile osservare come la zona in basso sia stata interessata da una maggiore presenza di animali nell'arco temporale selezionato corrispondente ad una maggiore differenza relativa di NDVI.

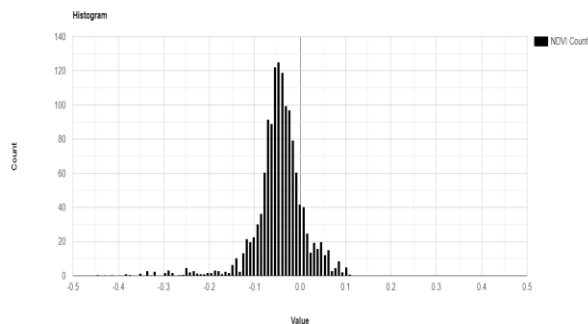


Fig 3 - Istogramma delle frequenze della differenza relativa di NDVI tra i periodi di pre e post pascolamento-

Fig.3 - Histogram of frequencies of the relative difference in NDVI between pre- and post-grazing periods

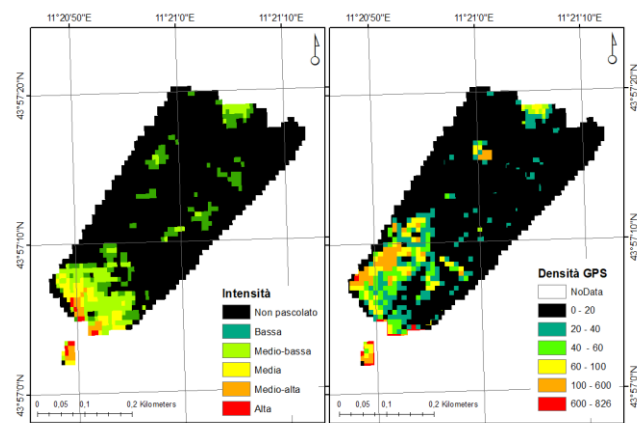


Fig.4 – Mappa di Intensità di pascolamento ottenuta grazie alle immagini satellitari e mappa di densità degli animali ottenuta utilizzando le posizioni GPS.

Fig.4 -Grazing Intensity map obtained using satellite imagery and animal density map calculated using GPS locations.

Una corrispondenza tra posizione degli animali e differenza relativa di NDVI si riscontra anche nella parte alta della mappa. Nella parte centrale, invece, i pixel pascolati e frequentati dagli animali non sempre coincidono. Questo potrebbe essere derivato sia dall'utilizzo di una immagine S-2 molto successiva al periodo di pascolamento, sia ad errori determinati dall'attribuzione delle marche auricolari. La stessa motivazione è probabilmente alla base delle differenze nella regione in basso a destra delle due mappe.

Discussioni e Conclusioni

Il nostro studio ha consentito di poter sfruttare in modo sinergico diverse tecnologie proprie dell'agro-zootecnia di precisione: collari VF, marche auricolari e immagini satellitari con sensori ottici. Sebbene in letteratura vi siano esempi di utilizzo delle immagini satellitari per definire la variazione della biomassa, questi si sono limitati ad evidenziare eventi di sfalcio (Griffiths et al., 2020) oppure come sistema di stima dell'intensità di pascolamento misurata tramite metodi tradizionali di campionamento di tipo puntuale (Qin et al., 2021). Il presente studio fornisce gli spunti per un utilizzo integrato di diverse tecnologie innovative per determinare l'impatto del pascolamento animale a livello spaziale sull'intera superficie interessata. La metodologia di rilevamento dell'intensità di pascolamento ha prodotto un risultato in larga parte corrispondente alla presenza degli animali sui medesimi pixel. Ulteriori indagini devono ancora essere svolte nella direzione della calibrazione delle soglie in base alle mappe di densità degli animali e all'applicazione della medesima procedura durante tutta la stagione vegetativa. L'utilizzo, inoltre, della piattaforma innovativa GEE ha consentito la processazione delle immagini satellitari ed il confronto con le mappe di densità in modo rapido ed efficiente. Questo studio fornisce quindi nuove e importanti informazioni che possono contribuire a sviluppare metodi di monitoraggio dei pascoli nelle zone montane con tecniche più accurate e a ridurre lo sforzo di campionamento della vegetazione.

Bibliografia

- Argenti, G., et al., 2020. Assessment of management effect on grasslands characteristics in an area of the Apennines (North Italy); *Agronomy Research*. 18: 2291–2302.
- Bernués, A., et al; Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs; *Livestock Science* 139.1-2 (2011): 44-57.
- Bishop-Hurley, G. J., et al., 2007. Virtual fencing applications: Implementing and testing an automated cattle control system; *Computers and Electronics in Agriculture* 56.1: 14-22.
- Griffiths, P. et al., 2020. Towards national-scale characterization of grassland use intensity from integrated Sentinel-2 and Landsat time series. *Remote Sensing of Environment* 238: 111124.
- Kampmann, D., et al, 2008. Mountain grassland biodiversity: Impact of site conditions versus management type; *Journal for Nature Conservation* 16.1: 12-25.
- Gorelick, N., et al, 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone; *Remote sensing of Environment* 202: 18-27.
- Perotti, E., et al., 2018. Selective grazing and nutrient transfer through cattle interactively affects pasture vegetation, Sustainable meat and milk production from grasslands: 319.

- Qin, Qi, et al., 2021. Comparing vegetation indices from Sentinel-2 and Landsat 8 under different vegetation gradients based on a controlled grazing experiment. *Ecological Indicators* 133: 108363.
- Rouse, J.W., et al., 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). *Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt, 10-14 December, SP-351, 309-317.*

LA RAN - RETE AGROMETEOROLOGICA NAZIONALE: RILANCIO E PROSPETTIVE

THE RAN (NATIONAL AGROMETEOROLOGICAL NETWORK): REACTIVATION AND OUTLOOK

Giovanni Dal Monte^{1*}, Stanislao Esposito¹, Roberta Alilla¹, Flora De Natale¹, Davide Fanchini¹, Antonio Gerardo Pepe¹, Massimo Scaglione¹, Barbara Parisse¹

¹ CREA - Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente

* giovanni.dalmonte@crea.gov.it

Abstract

The MiPAAF has charged CREA with the reactivation of the National Agrometeorological Network, financing the overall recovery of the entire network. The RAN has been created since 1990 as part of the agrometeorological activities of the National Agricultural Information System (SIAN), with the technical-scientific coordination of the Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA). In 2021, the preliminary stages aimed at recovering the network were completed and CREA then carried out a tender at EU level, following which it entered into a four-year framework agreement with the winning company of the tender (CAE spa), for the supply of the new equipment. The first implementation contract of the agreement provides for the renovation of the first twelve stations: eleven stations are in experimental farms owned by CREA and one, Roma Collegio Romano, is a centuries-old station located in an urban area. After an exposition of the evolution of the RAN, some details are provided on the new equipment that will be installed and on the use of the data collected by the stations.

Parole chiave

Rete agrometeorologica nazionale, banca dati agrometeorologica, stazioni meteorologica centenaria WMO, sensori meteorologici, servizi di dati.

Keywords

National agro-meteorological network, agro-meteorological database, WMO Centennial Observing Station, meteorological sensors, data services.

Introduzione

Nel 1987, il Ministero delle Risorse Agricole Alimentari e Forestali ha avviato la realizzazione di una struttura per l'agrometeorologia, nell'ambito del Sistema Informativo Agricolo Nazionale (SIAN), riguardante inizialmente la realizzazione di una banca dati meteorologica e di una Rete Agrometeorologica Nazionale (RAN) (Beltrano et al., 1995). Il coordinamento tecnico-scientifico delle attività è stato affidato all'allora Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA).

La fase progettuale della RAN, iniziata nel 1988 e durata circa due anni, ha riguardato principalmente:

- la definizione della densità e della distribuzione dei punti di rilevazione, che dovevano essere ubicati in aree agricole rappresentative del territorio circostante e delle colture prevalenti, essere conformi alle norme tecniche della World Meteorological Organization (WMO) (WMO, 2010 e 2018) e integrarsi con le stazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, dell'UCEA e dei Servizi regionali, per evitare sovrapposizioni;
- la realizzazione del sistema centrale per il controllo delle stazioni e l'acquisizione, controllo di qualità (Beltrano et al., 2004) memorizzazione ed elaborazione dei dati rilevati, la configurazione delle stazioni e la scelta dei sensori e dei datalogger.

La configurazione tipo delle stazioni, caratterizzate da alimentazione da rete elettrica e comunicazione su rete telefonica, era quella indicata in Tabella 1.

La manutenzione programmata è stata effettuata con controlli semestrali *in situ*.

Nel 2012 la RAN ha raggiunto il numero di 47 stazioni (Fig. 1). È da evidenziare che nella RAN è stata inserita dal 1998 anche la stazione urbana di Roma Collegio Romano, che ha ricevuto nel 2019 il riconoscimento di stazione storica centenaria da parte dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale. Per dare continuità alle lunghe serie storiche già presenti negli archivi UCEA, nella RAN sono state inserite anche le stazioni urbane di Salò e Taranto.

La manutenzione delle stazioni e il controllo di qualità dei dati è stato assicurato, negli anni recenti, dalla società SIN SpA (Sistema Informativo Nazionale per lo sviluppo dell'agricoltura, società mista pubblico-privata) che aveva in carico la gestione del SIAN. La manutenzione si è interrotta a fine 2017, quando è terminato il contratto con la SIN e non è seguita l'immediata attivazione di un nuovo contratto.

Nel 2019 il Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MiPAAF) ha incaricato il CREA di svolgere alcune ricognizioni sulla situazione delle stazioni della RAN e a fine 2020 ha concesso al CREA un primo finanziamento, grazie al quale il centro di ricerca CREA-Agricoltura e Ambiente (CREA-AA) ha iniziato le attività per il rilancio della Rete.



Fig. 1 – Localizzazione delle stazioni RAN al 2017: in giallo le stazioni su terreni CREA, in blu quelle presso altri enti pubblici, in rosso quelle presso privati.

Fig. 1 - Location of RAN stations in 2017: yellow dots for stations in CREA farmland, blue dots for stations at other public bodies and red dots for stations in private farmland.

Tab. 1 - Configurazione delle vecchie stazioni della RAN.
Tab. 1 - Configuration of old RAN stations.

Sensori	Intervallo di acquisizione	Tipo di misura	Massimi e Minimi	Unità di misura
Temperatura aria a 2 m	60 min	Istantanea	si	°C
Temperatura aria a 50 cm	60 min	Istantanea	si	°C
Temperatura suolo a 5 cm	60 min	Istantanea	si	°C
Temperatura suolo a -10 cm	180 min	Istantanea	si	°C
Temperatura suolo a -50 cm	180 min	Istantanea	si	°C
Precipitazione a 2 m	10 min	Totale	no	mm
Umidità relativa a 2 m	60 min	Istantanea	si	%
Umidità relativa a 50 cm	60 min	Istantanea	si	%
Velocità del vento a 10 m	10 min	Media	no	m/s
Velocità del vento a 2 m	10 min	Media	no	m/s
Direzione del vento a 10 m	10 min	Istantanea	no	gradi
Pressione atmosferica	60 min	Istantanea	si	hPa
Radiazione globale	60 min	Totale	no	KJ/m ²
Eliofania	60 min	Totale	no	ore
Flusso di calore	60 min	Totale	no	KJ/m ²
Evaporazione	1440 min	Totale	no	mm
Bagnatura fogliare	60 min	Totale	no	ore

Materiali e Metodi

Le ricognizioni svolte dal CREA-AA hanno portato alla conclusione che la soluzione più adatta, per contemperare al meglio le esigenze di tipo tecnico con quelle economiche e temporali, era quella di procedere alla sostituzione integrale delle attrezzature delle stazioni, installando le nuove strumentazioni nei siti preesistenti, ovunque possibile, in modo da dare continuità alle serie storiche che, per le prime sei stazioni installate, risalgono al 1991. I dati rilevati fino al 2017 sono stati memorizzati nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale (BDAN) del SIAN, insieme ai dati:

- delle stazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, dal 1951 al 2017;
- di provenienza UCEA: Stazioni Termo-Pluviometriche e Osservatori della rete storica UCEA dal 1961 al 2010 (con circa 25 serie ultracentenarie); dati dell'ex Servizio Idrografico LLPP dal 1951 al 1971; rilievi fenologici dal 1983 al 2017;
- spazializzati su griglia SIAN (10x10 km) dal 1961 al 2017;
- dei modelli previsionali DALAM e ECMWF-Centro Europeo Previsioni a Medio Termine.

Il CREA, contestualmente all'attività relativa alla RAN, si sta adoperando per recuperare i dati della BDAN, al momento non operativa.

Per il rilancio della RAN, si è proceduto, innanzitutto, a definire le caratteristiche delle attrezzature e dei servizi necessari alla ristrutturazione e alla successiva gestione della Rete. Su questa base, è stato messo a punto il capitolato tecnico e nel 2021 si è espletata una gara a livello comunitario, che ha visto l'assegnazione dell'appalto alla CAE spa. Il CREA ha quindi stipulato con la società un Accordo quadro quadriennale, che permetterà di procedere alla sostituzione delle attrezzature di tutte e 47 le stazioni RAN con più contratti attuativi, di pari passo con i finanziamenti che il CREA riceverà dal MiPAAF.

Risultati e Discussione

Il primo contratto attuativo, firmato nei mesi scorsi, prevede che entro l'autunno siano pienamente operative le prime 12 stazioni e il sistema centrale per la gestione della Rete e l'acquisizione, il controllo e l'archiviazione dei dati.

Le 12 stazioni (in rosso in Tab.1) sono ubicate in aziende agricole sperimentali del CREA, ad eccezione della stazione storica di Roma Collegio Romano.

Caratteristiche delle nuove stazioni

Le stazioni rinnovate saranno caratterizzate da alimentazione con pannello fotovoltaico da 100W e batteria tampone da 100 Ah, in modo da garantire oltre 30 giorni di autonomia. Il datalogger è il modello Compact Plus, basato sul sistema operativo Linux, con memoria interna di 2Gb e memoria estraibile di 8Gb, che garantiscono, rispettivamente, oltre 6 mesi e oltre 2 anni di memorizzazione dati.

Tab. 2 - Elenco delle 47 stazioni RAN al 2017. In rosso le prime 12 stazioni che saranno rinnovate.

Tab. 2 - List of 47 RAN stations in 2017. The first 12 stations interested by the renovation are reported in red.

N	Nome Stazione	Prov.	Alt.	Inizio rilievi
1	VERCELLI	VC	134	01/02/2007
2	VERZUOLO	CN	420	17/01/1995
3	CARPENETO	AL	230	10/05/1993
4	SALÒ	BS	98	21/03/2012
5	PIUBEGA	MN	38	01/10/1992
6	MONTANASO L.	LO	83	01/01/1991
7	VIGALZANO	TN	539	07/01/1999
8	SUSEGANA	TV	67	01/08/1991
9	ROVIGO	RO	5	02/08/2006
10	CIVIDALE	UD	130	24/01/1997
11	FIUME VENETO	PN	19	06/01/1996
12	ALBENGA	SV	8	05/10/2006
13	SAN CESARIO S. P.	MO	41	01/04/2011
14	BUDRIO	BO	30	17/01/2012
15	GUALDO	FE	6	04/04/2006
16	CESENA	FC	46	01/01/2006
17	SAN CASCIANO	FI	230	07/07/1993
18	SAN PIERO A GRADO	PI	3	07/07/1993
19	POMARANACE	PI	326	15/06/2005
20	SANTA FISTA	PG	311	01/10/1992
21	MARSCIANO	PG	229	01/10/1992
22	POTENZA PICENA	MC	119	15/06/2005
23	MONSAMPOLO	AP	43	01/10/1992
24	CAPRAROLA	VT	650	01/10/1992
25	MONTEROTONDO	RM	51	01/03/2005
26	ROMA COLLEGIO R.	RM	57	03/08/1998
27	BORGO SAN MICHELE	LT	12	18/01/1995
28	PALIANO	FR	260	29/09/2003
29	CASTEL DI SANGRO	AQ	810	01/05/1998
30	CAMPOCHIARO	CB	502	01/10/1992
31	CASTEL VOLTURNO	CE	4	07/11/2003
32	PIANO CAPPELLE	BN	152	20/07/1993
33	TORELLA DEL L.	AV	564	15/06/2005
34	PONTECAGNANO	SA	29	27/01/1995
35	PALO DEL COLLE	BA	191	01/01/1991
36	TURI	BA	230	01/01/1991
37	TARANTO	TA	85	05/10/2011
38	GENZANO DI L.	PZ	572	12/02/2003
39	MATERA	MT	370	11/01/1999
40	ALIANO	MT	250	08/04/1998
41	SIBARI	CS	10	29/07/1993
42	RIZZICONI	RC	95	21/05/2012
43	PIETRANERA	AG	158	01/08/1991
44	LIBERTINIA	CT	188	01/05/1992
45	SANTO PIETRO	CT	313	12/10/1991
46	CHLIVANI	SS	216	01/10/1992
47	SANTA LUCIA	OR	14	01/10/1992

I sensori che verranno installati sono:

- solarimetro LP Pyra 02 (a termopila);
- eliofanometro LP SD18.1 (a fotodiodi, senza parti meccaniche in movimento), (solo per la stazione di Roma C. R.);
- termoigrometro aria THS (termometro PT100 + igrometro a condensatore con dielettrico polimerico a film sottile);
- bagnatura fogliare HD 3901 (con elettrodi su entrambe le superfici);

- anemometro HD51.3DR (sonico biassiale con riscaldatore integrato, intervallo di misura 0-85 m/s);
- sensore di velocità di vento VV20 (a tre coppe);
- pluviometro PG2R (a bascula, riscaldato, con superficie di captazione di 200 cm², intervallo di misura: 0-1200 mm/h);
- barometro BA20;
- termometro superficiale e suolo (a +5 cm, -10 e -50 cm, gli ultimi due accoppiati a igrometro suolo: sonda HD3910.1 a due elettrodi, per la misura del volume d'acqua nel terreno).

Gli intervalli di acquisizione delle grandezze sono specificati in Tabella 3.

Tab. 3 - Intervalli di acquisizione delle diverse grandezze.

Tab. 3 - Measurement intervals for different variables.

Grandezza	Intervallo [min]	Dato acquisito	Unità di misura
Temperatura aria a 2 m	60	Istantanea	°C
Temperatura aria a 5 cm	60	Istantanea	°C
Temperatura suolo a -10 cm	180	Istantanea	°C
Temperatura suolo a -50 cm	180	Istantanea	°C
Precipitazione a 2 m	10	Totale	mm
Umidità relativa a 2 m	60	Istantanea	%
Velocità del vento a 10 m	10	Media	m/s
Velocità del vento a 2 m	10	Media	m/s
Direzione del vento a 10 m	10	Istantanea	Gradi
Pressione atmosferica	60	Istantanea	hPa
Radiazione globale	60	Totale	KJ/m ²
Eliofania	60	Totale	h
Bagnatura fogliare	60	Totale	h

Manutenzione

Il contratto stipulato comprende, per un periodo di 66 mesi, la manutenzione *full risks* della Rete, con visite quadrimestrali alle stazioni per il controllo e la taratura dei sensori, ed eventuale loro sostituzione qualora la tolleranza riscontrata risulti superiore a quella stabilita. Per i sensori igrometrici è prevista la sostituzione annuale con nuovi elementi sensibili tarati in laboratorio.

La manutenzione correttiva prevede i tempi di intervento di 1 giorno lavorativo in caso di *guasto bloccante*, mentre in caso di *guasto non bloccante* l'intervento da remoto sarà assicurato entro 30 minuti e quello in campo entro 2 giorni lavorativi.

Flusso dei dati

La logica di funzionamento della Rete prevede che ogni singolo *datalogger* della RAN effettui l'invio prioritario del dato grezzo al sistema centrale con periodicità oraria, comunicando con l'infrastruttura *cloud* del CREA (Azure) attraverso tecnologia *IoT Edge* e protocolli AMQP/MQTT.

Parallelamente, l'acquisizione dei dati grezzi potrà avvenire anche attraverso altre due tipologie di trasferimento:

1. metodo push: ogni stazione, tramite il modulo GPRS e utilizzando protocolli *file transfer* o *file transfer secure* (FTP, SFTP, SSH), si collega con cadenza oraria alla centrale in *cloud* e, tramite *file transfer* automatico, invia i file ASCII delle misure registrate;



Fig. 2 – Flusso di dati push.

Fig. 2 - Push data flow.

2. metodo pull: il sistema centrale, sempre tramite comunicazione GPRS, richiede i dati alle stazioni, li archivia in un RDBMS di Microsoft SQL Server e li sottopone a processi di validazione automatica (modulo Detective).



Fig. 3 – Flusso di dati pull.

Fig. 3 - Pull data flow.

Un'architettura *Service Oriented* garantirà l'interoperabilità tra sistemi (anche di terze parti) e l'accesso alle informazioni e alle meta-informazioni. I dati verranno quindi resi disponibili con servizi di tipo REST (*Representational state transfer*), quali *web services* (DataScape) ed API (*Application Programming Interfaces*), che adottano protocolli standard del tipo HTTP, HTTPS, CoAP; la consultazione "a richiesta" avverrà attraverso il metodo 'GET Data', che restituirà un file JSON standard strutturato in chiaro, con i dati leggibili.

Attraverso il modulo AeGis si potrà accedere a tutte le funzionalità di visualizzazione di dati e indici agrometeorologici e di diagnostica delle centraline, mentre una *web application* (ForeSide) permetterà di gestire, da remoto e in maniera organica, le anagrafiche di tutte le stazioni di monitoraggio della RAN, presenti e future.

Ulteriori per la piena operatività della RAN

Il MiPAAF recentemente ha stanziato ulteriori fondi, che consentiranno di portare a compimento la ristrutturazione della Rete. Di conseguenza, il CREA-AA ha iniziato a lavorare per la preparazione del nuovo contratto esecutivo, incominciando dalla verifica della disponibilità di proprietari e gestori dei terreni che ospitano le stazioni a proseguire la collaborazione; contestualmente verrà accertato il permanere delle caratteristiche di idoneità dei siti, soprattutto in relazione alla eventuale presenza di ostacoli sopravvenuti nel tempo. In base alle informazioni ora disponibili, almeno

cinque-sei stazioni dovranno essere spostate: per l'individuazione delle nuove localizzazioni verranno contattati anche i Servizi regionali, per evitare sovrapposizioni e individuare sinergie tra le reti. Si può ipotizzare che entro un paio d'anni il rilancio della RAN sarà completato e la rete sarà pienamente operativa, contribuendo così a dare spessore alla partecipazione del CREA alle attività dell'Agenzia ItaliaMeteo, in relazione alla quale il CREA figura nell'elenco degli Enti meteo.

Per raggiungere la piena operatività della Rete, il piano di attività del CREA-AA prevede di:

- configurare e popolare la propria banca dati agrometeorologica con il flusso dei dati RAN;
- definire l'architettura dello spazio *cloud* e preparare le schede di metadati necessarie a garantire l'interoperabilità fra banche dati, anche in vista del coordinamento che attuerà ItaliaMeteo;
- recuperare e caricare le serie storiche della BDAN, dopo averne definito e implementato le procedure di controllo di qualità.

In seguito alla probabile esigenza di spostare alcune delle stazioni, saranno necessarie analisi di omogeneizzazione e le serie disponibili dovranno essere sottoposte a validazione per ricostruire un *dataset* di riferimento utilizzabile anche a fini di ricerca. Un aspetto cruciale da curare riguarderà l'associazione di riferimenti climatici, a diverso passo temporale (mensile, decadale e giornaliero), a ciascuna stazione riattivata della RAN. Resta il limite dell'esteso periodo di inattività delle stazioni, che oramai si protrae da quasi cinque anni, a causa del quale sarà necessario utilizzare tecniche di ricostruzione della sequenza dei dati mancanti.

In ogni caso, lo sviluppo dei servizi REST in *cloud* dedicati alla RAN garantirà l'accessibilità dei dati, che saranno opportunamente annotati con standard di metadati per permetterne la piena interoperabilità e fruibilità -in linea con i principi FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*) relativi ai dati scientifici (Wilkinson et al., 2016)- *in primis* con gli altri Enti meteo di ItaliaMeteo, (Agenzia nazionale per la meteorologia e climatologia) oltre che con altri attori del settore, nel rispetto delle *policy* dei dati.

Conclusioni

Il MiPAAF ha finanziato al CREA la ristrutturazione e il rilancio operativo della Rete Agrometeorologica Nazionale, composta da 47 stazioni installate a partire dal 1990. Il centro di ricerca CREA-Agricoltura e Ambiente, dopo le prime attività ricognitive, sta provvedendo al rinnovo di una prima serie di 12 stazioni e alla progettazione e realizzazione della nuova banca dati agrometeorologica, dove confluiranno anche i dati della RAN.

Viene così rilanciato un importante tassello del monitoraggio agrometeorologico sul territorio nazionale, che potrebbe essere messo a sistema, integrandosi con le altre reti esistenti in Italia, sia nell'ambito di ItaliaMeteo sia in diversi contesti istituzionali, in sinergia con altri enti, anche internazionali (Istat, EC-JRC). La disponibilità dei dati acquisiti dalle rinnovate stazioni RAN, insieme al recupero dei dati storici archiviati nella BDAN, rappresenta un'opportunità rilevante

per la comunità scientifica e tecnica, in particolare per ampliare e dettagliare le analisi agrometeorologiche e agroclimatiche in Italia, anche in relazione al monitoraggio del cambiamento climatico e degli eventi estremi dannosi per l'agricoltura.

Bibliografia

Beltrano M.C., Flore A., Cittarelli B., Girolamo A., Paone E., 1995. The Italian Agrometeorological Network. Instruments and observing methods. IOM-Report Series n. 58 - WMO/TD n. 670. pp.7-12. Geneva, Switzerland.

Beltrano M.C., Perini L., 2004. Italian Agrometeorological Service Procedures for meteorological data quality

control. World Climate Data and Monitoring Programme - WCDMP.n. 56. Fourth Seminar for homogenization and quality control in climatological databases (Budapest,6-10/10/2003). WMO-TD n.1236, pp.205-210. WMO. Geneva, September 2004.

Wilkinson, M. D. et al., 2016. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci. Data* 3: 160018 doi: 10.1038/sdata.2016.18

WMO, 2010. Guide to Agricultural Meteorological Practices. WMO n. 134. 795 pp.

WMO, 2018. Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I –Measurement of Meteorological Variables. WMO n. 8, 2018. 548 pp.

IL RUOLO DELL'AGROMETEOROLOGIA NEL SUPPORTO ALLE POLITICHE E FABBISOGNI DI RICERCA E INNOVAZIONE NEL SETTORE

THE ROLE OF AGROMETEOROLOGY IN SUPPORTING RESEARCH AND INNOVATION POLICIES AND NEEDS IN THE SECTOR

Antonella Pontrandolfi^{1*}, Chiara Epifani¹, Federico Spanna², Marco Gerardi³, Arturo Caponero⁴, Emanuele Scalcione⁴

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente

² Regione Piemonte

³ LAORE-Sardegna

⁴ ALSIA-Basilicata

* antonella.pontrandolfi@crea.gov.it

Abstract

The paper illustrates the research analysis carried out within the project Agrometeore about the objectives of policies' programming at European and national level involving the agro-meteo-climatology sector (CAP, cohesion policies, PNRR, climate policies, etc.). The policies' integrated objectives and strategic axes show a central role required to agro-meteorological research and services. Specifically, the sector is important in terms of producing knowledge bases and innovative decision support tools, necessary for agriculture to contribute in sustainability, climate change, ecological and digital transition objectives. In relation to its important role, the study also addressed the specific weaknesses of the sector that should be overcome, also suggesting positive and active actions in the current investment planning.

Parole chiave

Agro-meteo-climatologia, politiche ambientali in agricoltura, politiche climatiche, politiche di sviluppo rurale, sistemi di supporto alle decisioni in agricoltura

Keywords

Agro-meteo-climatology, environmental policies in agriculture, climate policies, rural development policies, decision support systems in agriculture

Introduzione

Nei prossimi anni, il settore agricolo sarà chiamato, più che in passato, ad affrontare sfide cruciali, quali la sempre maggiore attenzione che le comunità e i consumatori pongono ai requisiti ambientali, sanitari, sociali ed etici della produzione di cibo. Al contempo, gli impatti del cambiamento climatico sul settore sono importanti e l'agricoltura necessita di "adattarsi", per garantire la produzione di cibo e per la sopravvivenza stessa delle aziende. Si prevede che la produzione agricola sarà inoltre sempre più variabile di anno in anno, a causa di eventi meteorologici estremi e di altri fattori quali la diffusione di avversità biotiche e abiotiche e fitopatie.

In tale contesto, l'agro-meteo-climatologia dovrà rivestire sempre più un ruolo centrale nella programmazione delle politiche, così come nella gestione dei territori, delle risorse e delle aziende, in quanto fornitrice di basi di conoscenze e strumenti innovativi di supporto alle decisioni in agricoltura. Di fatto, diventerà un fattore cruciale di efficacia della programmazione e di competitività per le aziende agricole la possibilità di usufruire di studi, analisi e servizi agrometeorologici, come il monitoraggio dei principali indicatori di interesse per l'agricoltura nel corso della stagione, l'analisi agro-meteo-climatiche e i servizi derivanti dalla modellistica previsionale, agronomica e fitopatologica. L'attenzione verso i prodotti tecnico-scientifici dell'agrometeorologia è confermata dalla presenza di specifici servizi particolarmente sviluppati in Europa, ma non solo, affidati a centri di ricerca, agenzie e istituzioni locali e nazionali.

In Italia, l'evoluzione del contesto politico e normativo ha portato a non disporre di un sistema agrometeorologico nazionale, bensì alla presenza di servizi regionali, con differenze notevoli in termini di organizzazione, sviluppo e innovazione e con risorse economiche sempre più ridotte nel tempo. Un discreto sviluppo c'è stato nel settore privato, con prodotti disponibili prevalentemente per la gestione delle pratiche agricole su scala aziendale.

Tra i vari contenuti oggetto di discussione del Tavolo di coordinamento nel settore dell'agrometeorologia, nell'ambito del progetto Agrometeore - Rete Rurale Nazionale del CREA, è emersa la necessità di discutere del possibile ruolo dell'agro-meteo-climatologia in questa fase intensa di programmazione della futura Politica agricola comune (di seguito PAC), ma anche in altre politiche con obiettivi strategici trasversali. Si è discusso poi delle fragilità e disparità tra servizi regionali che non consentono di agire a supporto delle decisioni con un livello tecnico e tecnologico adeguato alle sfide che la transizione ecologica e digitale richiede al settore agricolo e al Paese.

Il presente contributo illustra le analisi svolte sulle politiche e riporta alcune importanti considerazioni sui possibili sviluppi futuri.

Ruolo dell'agrometeorologia rispetto agli obiettivi delle politiche

L'Unione europea ha lanciato le strategie "Green Deal", "Farm to Fork" e "Biodiversity" e recentemente una strategia digitale al 2030, con cui anche l'agricoltura, come il resto dei settori economici, è chiamata alla transizione ecologica e

digitale (1). Le parole chiave dell'agricoltura del futuro sono state declinate in "sostenibilità", "adattamento ai cambiamenti climatici" e "innovazione": la programmazione di settore dovrà quindi prevedere espliciti target nazionali da raggiungere.

L'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per il raggiungimento dei 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile, ormai punto di riferimento di tutta la comunità internazionale, evidenzia l'importanza della promozione di processi decisionali di *evidence-based policy* e che la stabilità o la stagnazione degli investimenti pubblici in ricerca disattende le raccomandazioni dell'Agenda stessa (2).

Come è noto, tra le politiche di maggiore risalto vi è il **Piano nazionale di ripresa e resilienza** (PNRR) e il collegato Fondo complementare che, con l'obiettivo di contribuire alla transizione ecologica e digitale, coinvolgono direttamente il sistema agricolo, agroalimentare e forestale (3). Il Piano si sviluppa intorno a 3 assi strategici condivisi a livello europeo (Digitalizzazione e innovazione, Transizione ecologica, Inclusione sociale) e si articola in componenti, raggruppate in missioni. Tra queste, alcune sono di interesse per il settore dell'agrometeorologia: M1C1 Digitalizzazione, innovazione e sicurezza nella PA; M1C2 Digitalizzazione, innovazione e competitività nel sistema produttivo; M1C3 Potenziamento della ricerca di base e applicata, favorire il trasferimento tecnologico, promuovere la trasformazione digitale dei processi produttivi e l'investimento in beni immateriali; M2C1 Economia circolare e agricoltura sostenibile; M2C4: Tutela del territorio e della risorsa idrica; Investimenti per contrastare il cambiamento climatico e il dissesto idrogeologico.

Sono state già definite le misure "agricole": 5 gestite direttamente dal Mipaaf (Innovazione e meccanizzazione; Sviluppo della logistica; Resilienza dell'agroecosistema irriguo; Parco agricolo; Contratti di filiera e di distretto) e altre gestite dal MiTE ma sempre afferenti al settore agricolo (Sviluppo del biogas e del biometano). A queste si aggiungono anche misure trasversali sempre di interesse per l'agricoltura: Transizione 4.0; Economia circolare; Comunità energetiche; Borghi rurali; Banda larga.

La programmazione del PNRR è in capo alla Presidenza del Consiglio e i singoli soggetti attuatori (Amministrazioni centrali, Regioni, Province autonome ed enti locali), sulla base delle specifiche competenze istituzionali o della diversa titolarità degli interventi definita nel Piano stesso, provvedono alla realizzazione operativa degli interventi.

Collegato al PNRR, va menzionato il Documento di economia e finanza (DEF) 2020 che conferma e accentua una linea strategica sul ruolo degli investimenti pubblici come fattore fondamentale per la crescita. Ulteriore programma nazionale da citare è il **Programma nazionale per la ricerca 2021-2027** (PNR), approvato al CIPE nel dicembre 2020, alla realizzazione del quale concorrono le amministrazioni dello Stato con il coordinamento del Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR) (4). Il PNR è strutturato in 6 priorità di sistema e grandi ambiti di ricerca e innovazione entrambi con relative aree d'intervento e può

includere piani nazionali e missioni. In relazione al ruolo e alle specificità della scienza agrometeorologica, si evidenziano di seguito gli ambiti e le relative articolazioni di intervento di diretto interesse:

a) Sicurezza per i sistemi sociali *"La pressione crescente delle attività antropiche e l'intensificarsi dei cambiamenti climatici si traducono in una maggiore frequenza di disastri ambientali e in un maggiore rischio di impatto su strutture, infrastrutture e sistemi naturali. Il PNR sviluppa queste connessioni promuovendo linee di ricerca a sostegno della resilienza di strutture e per lo sviluppo di metodi e tecnologie per il monitoraggio e la prevenzione dei rischi"*;

b) Sicurezza per i sistemi naturali - *Articolazione 2. Monitoraggio dei sistemi naturali: innovazione tecnologica e sociale e ricerca interdisciplinare per rispondere alle esigenze di acquisizione di dati innovativi per il monitoraggio e la comprensione dei sistemi naturali, finalizzata anche all'adozione di procedure standard utili alla comunità scientifica, ai fruitori e alla loro condivisione. Tra gli impatti attesi vi sono: avanzamento nello sviluppo e implementazione di sensori, strumenti e reti di monitoraggio, in particolare multiparametriche; implementazione e creazione di banche dati ad elevato contenuto informativo, spaziale e temporale, adeguate a sostenere monitoraggi e modellazioni multiscala; sviluppo di metodologie efficienti per l'analisi e la gestione operativa e razionale di grandi database con politiche di condivisione mirate a garantire la più ampia fruibilità dei dati; integrazione di piattaforme open access per datasets, risultati scientifici e tecnologici utilizzabili in condivisione con la società civile e come strumento operativo per la governance del multirischio e degli impatti antropici;*

c) Cambiamento climatico, mitigazione e adattamento - *Articolazione 7. Sviluppo di strategie e azioni per l'attuazione di interventi di adattamento climatico; tra gli impatti attesi: sviluppare modelli di conoscenza, previsione, misurazione e monitoraggio dell'efficacia delle azioni di adattamento; proporre protocolli e sistemi di indicatori, simulazioni e modellazioni informative.*

Il coinvolgimento dei Ministeri e delle Regioni nella definizione di specifici programmi di ricerca è una delle importanti novità del PNR 2021-27.

Altro importante strumento programmatico a livello europeo e nazionale è la **Politica di coesione 2021-2027** (5). Questo pacchetto di investimenti vuole porre l'attenzione su grandi traguardi europei e ha individuato 5 obiettivi strategici: *"un'Europa più intelligente, più verde, più connessa, più sociale, più vicina ai cittadini"*. I principali strumenti finanziari della politica di coesione dell'UE sono il Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR) e il Fondo sociale europeo (FSE) entrambi programmati con l'obiettivo di *"contribuire ad appianare le disparità esistenti fra i diversi livelli di sviluppo delle regioni europee e di migliorare il tenore di vita nelle regioni meno favorite"*. La programmazione segue quattro temi: Lavoro di qualità; Territorio e risorse naturali per le generazioni future;

Omogeneità e qualità dei servizi per i cittadini; Cultura veicolo di coesione economica e sociale. Tra gli obiettivi strategici, due in particolare possono veder coinvolto il settore dell'agrometeorologia:

- Europa più intelligente, che intende *rafforzare le capacità di ricerca e di innovazione e l'introduzione di tecnologie avanzate e permettere ai cittadini, alle imprese e alle amministrazioni pubbliche di cogliere i vantaggi della digitalizzazione;*
- Europa più verde, che mira a *promuovere l'adattamento ai cambiamenti climatici, la prevenzione dei rischi e la resilienza alle catastrofi; promuovere la gestione sostenibile dell'acqua; creare sinergie/potenzialità di intervento della politica di sviluppo rurale che, in tema di tutela delle risorse naturali e manutenzione attiva del territorio, svolge un ruolo essenziale; creare sinergie delle funzioni e degli strumenti di protezione civile essenziali non solo per la gestione delle emergenze, ma anche e soprattutto per fare prevenzione, ridurre il rischio di catastrofi e rafforzare la resilienza delle comunità, attraverso informazione, formazione e coinvolgimento attivo.*

Tra le maggiori sfide indicate, vi è l'importanza dell'azione pubblica diretta all'organizzazione, produzione o supervisione di molti servizi e alla verifica dell'adeguatezza nella erogazione di servizi ai cittadini. L'Italia mostra eccellenze, ma ha ritardi sistemici in molti servizi, in particolare in quelli legati alla digitalizzazione e rimane soprattutto caratterizzata da notevoli e persistenti disparità territoriali. Delle risorse del FESR, una più ampia dotazione finanziaria sarà dedicata all'ampliamento dei servizi digitali della Pubblica Amministrazione e dei servizi ambientali, in particolare rifiuti ed acqua. Gli strumenti si esplicano in sostegno alla spesa per infrastrutture e beni durevoli, rafforzando le dotazioni e consentendo di recuperare deficit e ritardi che impattano sul livello e la qualità dei servizi. In parte con il FESR, ma soprattutto con il FSE, si può intervenire anche con un sostegno alla spesa corrente. In questo caso, non si può sostenere direttamente la spesa per il personale, che in alcuni casi rappresenta la componente più rilevante dei costi di erogazione del servizio, si può, tuttavia, intervenire sulla formazione o, a determinate condizioni, sull'acquisto di beni e servizi per il funzionamento. Servizi agrometeorologici migliori e rafforzati in questo senso, contribuirebbero senz'altro al miglioramento e alla modernizzazione dei servizi pubblici che la politica richiede.

Si ritiene importante citare anche il **Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici** (6), un piano trasversale che include tutti gli ambiti in cui l'agricoltura ricopre un ruolo importante. Ogni settore deve contribuire con le proprie politiche (quello agricolo, con la PAC) inserendo coerentemente gli obiettivi e le azioni previste dal Piano. Nello specifico, tra le varie azioni attribuite al settore agricolo, il Piano riporta:

AG016 Valutazione del rischio climatico in agricoltura e aggiornamento periodico delle mappe di rischio;

AG018 Promuovere la ricerca per soluzioni di adattamento e mitigazione per il settore agricolo: sostenere in modo mirato la ricerca per definire soluzioni alternative in termini di varietà colturali, pratiche agricole, tecniche di lavorazione del suolo, ottimizzazione della risorsa idrica, in funzione delle specifiche condizioni ambientali, dei cambiamenti climatici e delle nuove tecnologie disponibili (es. sviluppo DSS=sistemi di supporto alle decisioni);

AG019 Creazione di reti di conoscenza e piattaforme di confronto tra operatori del settore;

AG021 Formazione e assistenza tecnica per la gestione della risorsa idrica: investimenti sul capitale umano per il miglioramento della gestione dell'acqua nei comprensori irrigui che fanno capo a infrastrutture di approvvigionamento idrico; formazione per il supporto all'irrigazione pianificata sulla base degli effettivi fabbisogni irrigui stimati e riduzione del rischio di salinizzazione in zone aride.

Anche in questo caso, il ruolo di supporto dell'agro-meteorologia su queste azioni risulta determinante per il raggiungimento dei risultati attesi.

PAC e Servizi agrometeorologici e fitosanitari

Con riferimento alla politica principe per l'agricoltura, la proposta di Regolamento dei Piani strategici nazionali della nuova PAC (7) definisce degli obiettivi di tipo climatico-ambientale:

OS 4 Contribuire alla mitigazione del cambiamento climatico, all'adattamento e alla produzione di energia sostenibile;

OS 5 Favorire lo sviluppo sostenibile e la gestione efficiente delle risorse naturali come acqua, suolo e aria;

OS 6 Contribuire alla protezione della biodiversità, rafforzare i servizi ecosistemici e preservare habitat e paesaggio;

OS 9 Migliorare il benessere animale e affrontare il tema dell'antibiotico-resistenza.

Su questi obiettivi strategici sono state definite 7 aree tematiche: a) Mitigazione del cambiamento climatico; b) Adattamento al cambiamento climatico; c) Protezione e miglioramento della qualità dell'acqua e riduzione della pressione sulle risorse idriche; d) Prevenzione del degrado del suolo; e) Tutela della biodiversità; f) Uso sostenibile e ridotto di pesticidi; g) Benessere animale.

Pur introducendo novità importanti sugli obiettivi ambientali (la cosiddetta "architettura verde" della PAC), la loro declinazione è a carico principalmente del II pilastro, più precisamente delle misure agro-climatico-ambientali dei **Programmi di sviluppo rurale regionali** (PSR). Di seguito, si evidenziano gli ambiti che più direttamente necessitano di attività di analisi e di servizi agrometeorologici: produzione biologica; produzione integrata certificata; uso sostenibile di fertilizzanti; prodotti fitosanitari; uso dell'acqua per l'irrigazione; pratiche agroecologiche specifiche; pratiche di agricoltura conservativa e carbon farming (8).

Le stesse considerazioni riguardano la misura nazionale sulla **Gestione del rischio**, in quanto l'agro-meteo-climatologia fornisce analisi per definire strategie, azioni e strumenti di previsione, prevenzione e gestione del rischio meteorologico e climatico. Seppur in ambito PAC le misure di gestione del rischio siano pensate come strumenti economici di supporto al reddito, è pur certo che la programmazione di fondi e la calibrazione degli strumenti necessitano di analisi oggettive di rischio, quindi anche di analisi di occorrenza ed esposizione agli eventi estremi nelle diverse aree del Paese. Solo in tal modo, con un approccio di *evidence-based policy*, si può garantire l'efficacia a medio-lungo termine di strumenti di politica che hanno, sinora e non a caso, mostrato forti limiti. Al raggiungimento degli obiettivi strategici, dovranno contribuire anche le misure relative agli **Investimenti**. La transizione ecologica dovrà essere garantita anche attraverso l'ammodernamento di strutture, macchinari e attrezzature. In particolare, si evidenziano gli investimenti che dovranno esplicitamente migliorare la "precisione" e la "sostenibilità" e che necessitano di attività di analisi e servizi agrometeorologici per: ridurre l'impiego e lo spreco di input (fertilizzanti, fitosanitari, acqua); accrescere la resilienza climatica delle aziende; pianificare investimenti verdi materiali e immateriali; costruire una strategia di intervento integrata rispetto a temi quali gli eventi meteorologici; la difesa delle colture; le esigenze irrigue. Elementi essenziali dell'architettura verde sono anche tutte le misure del Sistema della conoscenza e dell'innovazione in agricoltura (*Agricultural Knowledge and Innovation System -AKIS*) (9). Gli obiettivi delle misure AKIS di diretto interesse per l'agrometeorologia sono: a) promuovere la cooperazione e l'integrazione fra le diverse componenti del sistema della conoscenza e dell'innovazione; b) promuovere la raccolta di informazioni e la diffusione capillare ed integrata di conoscenze e innovazioni; c) migliorare l'offerta informativa e formativa; d) promuovere attraverso la formazione e la consulenza (pubblica e privata) dei tecnici, l'impiego di metodi e strumenti innovativi; e) promuovere l'utilizzo degli strumenti digitali da parte del tessuto imprenditoriale agricolo e forestale e delle componenti dell'AKIS, con particolare attenzione alle innovazioni tecnologiche. Le misure AKIS dovranno operare in sinergia con le misure agro-climatico-ambientali e di investimento, per garantire l'efficacia delle azioni per la sostenibilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Si evidenzia, in particolare, l'aspetto relativo alle tecnologie, rafforzato nella nuova PAC, che spaziano dal supporto a interventi fitosanitari e di concimazione, alle reti agrometeorologiche per l'analisi delle condizioni meteo-climatiche, fino alle tecnologie per piattaforme di condivisione/informazione, gestione da remoto, ecc. La modernizzazione del settore è prevista anche attraverso "*la descrizione della struttura organizzativa degli AKIS, concepiti come organizzazione combinata e flussi di conoscenze tra persone, organizzazioni e istituzioni che utilizzano e producono conoscenza nel settore dell'agricoltura e in quelli correlati*".

Infine, si citano le misure di **Cooperazione**, che potranno essere da questo nuovo ciclo anche interregionali e che potranno promuovere la condivisione delle innovazioni e azioni ambientali collettive.

Fabbisogni e attività prioritarie nel settore dell'agrometeorologia

In generale, il Tavolo nazionale di coordinamento nel settore dell'agrometeorologia ha individuato come maggiori problematiche del settore:

- assenza di un sistema agrometeorologico nazionale che possa fornire analisi su scala nazionale, anche per la programmazione e l'attuazione delle politiche;
- diffusa frammentazione delle strutture, delle competenze e delle responsabilità in ambito agrometeorologico a livello nazionale e regionale;
- profonde differenze tra le Regioni e Province autonome in termini di raccolta, elaborazione e messa a disposizione delle informazioni, nonché di investimenti e di organizzazione;
- assenza di linee guida metodologiche condivise e scarsa interoperabilità tra i sistemi;
- grandi difficoltà delle Regioni nel fornire supporto alle decisioni per scarsità di risorse finanziarie e tecniche;
- incapacità di ottimizzare le risorse e garantire a tutte le aziende agricole le stesse opportunità di competitività e crescita.

A livello nazionale, le attività prioritarie nel settore dell'agrometeorologia sono state quindi definite in:

- coordinamento delle reti e delle piattaforme;
- condivisione di metodologie di analisi e modellistica esistenti;
- rafforzamento delle reti di monitoraggio (regionali e della Rete Agrometeorologica Nazionale - RAN);
- rafforzamento dei servizi regionali (risorse umane e tecniche);
- promozione di attività di ricerca e trasferimento delle innovazioni.

In relazione a questi aspetti, il progetto Agrometeore, con il supporto del Tavolo di coordinamento, aveva già prodotto un lavoro di confronto interno (10), poi rivolto anche alle politiche di sviluppo rurale in uno specifico convegno (11). Inoltre, in occasione dell'incontro tematico di Agrometeore del 17 giugno del 2021 sulla nuova PAC, è stato sottoposto ai Servizi regionali un questionario relativo alla conoscenza degli strumenti di politiche esistenti, alle priorità e ai fabbisogni del settore. Il questionario ha confermato i fabbisogni e l'esigenza di poter partecipare attivamente ai diversi strumenti che possono coinvolgere l'agrometeorologia. In relazione alle risorse umane, le problematiche rientrano nel più generale quadro italiano di scarsità di personale adeguatamente qualificato che costituisce una barriera significativa agli investimenti in ricerca e sviluppo, come evidenziato anche dal Piano nazionale della ricerca.

Come noto, nel percorso di programmazione della PAC il ruolo dell'agro-meteo-climatologia risulta importante anche

per l'analisi di contesto, la definizione degli obiettivi e dei fabbisogni. Ad oggi, il progetto Agrometeore ha contribuito con analisi agro-meteo-climatiche alla stesura dei *policy brief*, dell'analisi SWOT e della prima versione dei fabbisogni sull'OS 4 Obiettivo Strategico – Contribuire alla mitigazione del cambiamento climatico, all'adattamento e alla produzione di energia sostenibile (12).

In particolare, dall'analisi SWOT è emerso come punto di debolezza del sistema agricolo nazionale: mancanza di coordinamento nazionale delle reti di monitoraggio regionali e conseguente carenza di dati agro-meteo-climatici da utilizzare per migliorare i servizi di consulenza alle aziende agricole (D4.8). Per superare questo punto di debolezza, nel Piano strategico nazionale si è proposto di inserire come fabbisogno specifico il “*miglioramento dei servizi agrometeorologici per il supporto ad un'agricoltura eco-sostenibile e resiliente ai cambiamenti climatici*”.

Altrettanto importanti sono le considerazioni che emergono dal *policy brief* sul sistema della conoscenza e dell'innovazione AKIS. Nella prima fase di definizione dei fabbisogni sulle misure AKIS sono state proposte, oltre alla raccolta di informazioni e alla diffusione capillare ed integrata di conoscenze e innovazioni, la cooperazione e l'integrazione fra le diverse componenti del sistema della conoscenza e dell'innovazione, a livello istituzionale e a livello di strutture operative. Emerge, quindi, una piena corrispondenza del ruolo e delle esigenze del settore agrometeorologico, espresse anche dal Tavolo di coordinamento nel settore dell'agrometeorologia, con il sistema AKIS in termini di obiettivi, di punti di debolezza e di opportunità.

Discussione e conclusioni

Appurati quali sono le potenzialità, nonché le oggettive difficoltà nel rispondere alle esigenze di supporto su scala nazionale, regionale e locale, come si potrebbe in questa fase programmatica dare nuovo slancio al settore a vantaggio di tutto il sistema agricolo italiano? Dall'analisi delle politiche emergerebbe la possibilità di prevedere l'integrazione di diverse fonti di finanziamento che sono in fase di programmazione.

In ambito PNRR, dato il livello di investimento strutturale previsto e la scala nazionale e regionale della programmazione, potrebbe esserci spazio, ad esempio, nella misura Meccanizzazione e Agricoltura di precisione, così come nelle misure relative alla Ricerca e alla Digitalizzazione.

Un coinvolgimento di FESR e FSE potrebbe essere attuato sinergicamente per: il miglioramento delle infrastrutture tecnologiche e dei processi di digitalizzazione, l'investimento in risorse umane e formazione, così come per l'implementazione e armonizzazione delle reti agrometeorologiche regionali attraverso investimenti strutturali.

Nella nuova PAC, l'innovazione introdotta su AKIS con un chiaro riferimento all'“*adeguato supporto*” da dare alle aziende, apre un margine di lavoro per il rafforzamento dei

servizi e il loro coordinamento. Rispetto agli obiettivi strategici di AKIS, il settore dell'agrometeorologia dovrebbe poter trovare un proprio ruolo, per dare adeguato supporto e ricevere adeguati fondi per soddisfare i fabbisogni di sviluppo. Al contempo, un'ulteriore possibilità sarebbe definire una “misura per l'adesione delle aziende ai servizi agrometeorologici”, per migliorare il trasferimento delle innovazioni, attivando anche la relativa assistenza tecnica nei PSR regionali. Infine, per tutte le azioni di miglioramento della conoscenza dei sistemi di monitoraggio e di trasferimento, il Piano nazionale della Ricerca del MUR potrebbe creare importanti opportunità attraverso il coordinamento delle esigenze tra Regioni e Ministero. In conclusione, affinché l'agricoltura italiana possa contribuire agli obiettivi strategici integrati di transizione ecologica e digitale e di modernizzazione del settore pubblico e dei servizi, il Paese necessita di un sistema forte e coordinato di agro-meteo-climatologia. La situazione attuale, invece, rischia non solo di compromettere il raggiungimento dei risultati, ma anche di fallire sugli obiettivi trasversali delle politiche, mantenendo un elevato livello di frammentazione e disomogeneità tra territori, sistemi agricoli e aziende. Le risorse ci sono, ma vanno impegnate con una progettualità condivisa, con obiettivi e misure integrate. È il settore pubblico (Mipaaf, Regioni, enti di ricerca) che deve garantire adeguati strumenti di supporto alle decisioni di qualità, omogenei e con copertura nazionale.

References

- (1) https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- (2) <https://unric.org/it/agenda-2030/>
- (3) <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
- (4) <https://www.mur.gov.it/sites/default/files/2021-01/Pnr2021-27.pdf>
- (5) https://opencoesione.gov.it/media/uploads/temiunificanti_2_021_2027.pdf
- (6) <https://www.mite.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici>
- (7) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R2115>
- (8) <http://www.pianetapsr.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2093>
- (9) <https://www.reterurale.it/PACpost2020/percorsonazionale>
- (10) <https://amsacta.unibo.it/5886/1/AIAM%202018%20Atti%20Final.pdf>
- (11) <http://www.pianetapsr.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2093>
- (12) <https://www.reterurale.it/PACpost2020/percorsonazionale>

UN NUOVO SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI IN AMBITO FITOIATRICO PER I SERVIZI E LE AGENZIE REGIONALI ITALIANE

A NEW DECISION SUPPORT SYSTEM FOR PLANT PROTECTION FOR ITALIAN REGIONAL SERVICES AND AGENCIES

Gruppo MISFITS^{1*}: Alilla R., Antolini G., Bajocco S., Bassi C., Bregaglio S., Bugiani R., Bussotti, S., Butturini A., Cafici, E., Caponero A., Carraro S., Cattaneo G., Cervone L., Checchetto M. F., Culatti P., De Lillo I., De Natale F., De Nart D., Di Lena B., Donatelli M., Epifani R., Fanchini D., Federici S., Fois G., Franzina M., Gerardi E., Gerardi M. S., Ghironi M., Ginaldi F., Grillo, F., Iannacone R., La Iacona T., Manici, L.M., Mazzocchetti A., Montagni A., Morelli D., Nigro C., Paravidino, Parisse B., Pepe A.G., Pietrangeli F., Pini S., Prandi, M., Raparelli E., Savian F., E., Sanchioni A., Scalcione E., Spanna F., Tiso R., Tognetti D., Troiano M., Virano A.

¹ 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

Abstract

The release of phytosanitary bulletins to support farmers in scheduling plant protection practices is a core activity of regional agencies and services. Available decision support systems (DSS) differ in the disease models and validation procedures, as well as in their use for decision-making. We present the MISFITS-DSS, which has been developed by CREA and nine Italian plant protection services, with the aim of harmonizing models and protocols to improve decision support for Italian farmers. Grapevine downy mildew was selected as use case: infection risk data and phenological observations were derived from expert assessment (2012-2017) and used as ground truth. Outputs from process-based models were processed by a machine-learning layer to predict the reference infection risk. Results indicate that the system was able to harmonize the classification of the infection risk across regions, in an area where IPM principles have been in place for decision-making since years.

Parole chiave

Modelli epidemiologici, malattie fungine, intelligenza artificiale, approccio partecipativo, Random Forest

Keywords

Epidemiological models, fungal diseases, artificial intelligence, participatory approach, Random Forest

Introduzione

La diffusione delle pratiche di *Integrated Pest Management* (IPM) necessita di sistemi di supporto alle decisioni (DSS) basati su modelli previsionali, in grado di indicare il momento più idoneo per effettuare i trattamenti fitosanitari per ridurre il numero e ottimizzarne l'efficacia.

Nonostante sia assodato che l'utilizzo di DSS nel processo decisionale riduca significativamente l'impatto ambientale delle pratiche gestionali, la loro regolare consultazione da parte degli agricoltori è ancora relativamente limitata (Shtienberg, 2013). Tra le cause vi è il mancato coinvolgimento degli utenti nelle fasi di progettazione e sviluppo, necessario per costruire e rafforzare la fiducia nei consigli erogati (Debeljak et al., 2019). La scarsa disponibilità di *dataset* pubblici ed omogenei di osservazioni relative alla gravità delle fitopatie ostacola ulteriormente l'ulteriore sviluppo dei DSS, limitandone le condizioni esplorate nelle attività di calibrazione.

Il quadro d'azione per la riduzione dell'uso di prodotti fitosanitari e dei relativi impatti sulla salute umana e sull'ambiente è tracciato dalla direttiva 128/2009/CE, che richiede che ogni stato membro sviluppi un Piano d'Azione Nazionale (PAN) nel quale sia previsto l'utilizzo di DSS da parte dei servizi delle agenzie regionali preposte al supporto agli agricoltori. La più recente indagine dello stato dell'arte delle metodologie attualmente in uso risale al 2000, ed indica

la necessità di un sforzo coordinato a livello nazionale per favorire una diffusione capillare e massiva delle pratiche IPM (Rossi et al., 2000). In assenza di tale coordinamento, negli ultimi vent'anni abbiamo assistito ad uno sviluppo costante – ma frammentato – di procedure e metodologie per erogare il supporto agli agricoltori in ambito fitoiatrico da parte degli enti regionali. Questo ha determinato una grande eterogeneità sia nella tipologia dei DSS in uso, sia nell'adozione dei criteri adottati per erogare il consiglio fitoiatrico.

L'anno scorso, in occasione del XXIII Convegno dell'Associazione Italiana di Agrometeorologia, abbiamo presentato il gruppo MISFITS, nato all'interno del progetto AgriDigit-Agromodelli, che vede come partecipanti il Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) e i servizi e le agenzie regionali di Abruzzo, Basilicata, Emilia-Romagna, Liguria, Lombardia, Marche, Piemonte, Sardegna e Veneto. Ad un anno di distanza presentiamo un flusso di lavoro metodologico per erogare la previsione del rischio di infezione di patogeni fungini, basato sull'integrazione di approcci partecipativi, modellistica di simulazione basata su processi e tecniche di *machine learning*. Abbiamo scelto la peronospora della vite (agente causale *Plasmopara viticola* Berk. & M.A.Curtis Berl. & De Toni) come caso d'uso per definire l'architettura del DSS, poiché la vite è una delle colture italiane più diffuse ed economicamente rilevanti e la

peronospora l'avversità che richiede il maggior numero di trattamenti fungicidi.

Materiali e Metodi

Il flusso di lavoro ha previsto la consultazione esperta dei bollettini fitosanitari rilasciati a cadenza settimanale nel periodo 2012-2017, finalizzata ad omogeneizzare la classificazione del rischio di infezione di peronospora in cinque classi, da 'molto basso' a 'molto alto'. Dati agrometeorologici orari geolocalizzati nelle aree viticole delle regioni partecipanti sono stati utilizzati in input a semplici modelli fenologici e predittivi del rischio di infezione e della dinamica della suscettibilità dell'ospite durante la stagione. I risultati delle simulazioni sono stati aggregati ed usati come predittori della variabilità spazio-temporale del rischio di infezione di riferimento mediante un algoritmo di apprendimento automatico.

Complessivamente sono stati consultati 1579 bollettini fitosanitari, indipendentemente da sei valutatori con formazione fitopatologica, agronomica e agrometeorologica. Le osservazioni fenologiche sono state convertite in codice BBCH, che è stato trascritto oppure ricavato dalla descrizione testuale (1689 osservazioni disponibili). Il rischio di infezione da peronospora è stato classificato secondo una scala Likert a 5 punti. La valutazione è avvenuta secondo criteri predefiniti e concordati tra i partecipanti CREA e i servizi e agenzie regionali (Tab. 1). Tali criteri hanno previsto i) la comparsa di sintomi di peronospora nei monitoraggi; ii) la suscettibilità alla malattia in base alla fenologia della vite; iii) l'andamento meteorologico per valutare la predisposizione ambientale alle nuove infezioni; iv) il consiglio di applicazione di trattamenti fitosanitari e v) l'indicazione derivata da modelli epidemiologici in uso.

Tab. 1 – Criteri adottati per la valutazione del rischio di infezione da peronospora sulla base dei bollettini fitosanitari.

Tab.1 - Common criteria adopted for the evaluation of downy mildew infection risk based on phytosanitary bulletins.

Classe rischio	Sintomi	Suscettibilità	Previs. meteo	Trattamento	Rischio modello
molto basso	no	bassa	sfavor.	no	no
basso	no	media	poco favor.	prevent.	basso
medio	tracce sporadici	media alta	favor. ottim.	cons.	medio alto
molto alto	frequenti	alta	ottim.	molto consigl.	altissimo

Sono stati sviluppati modelli di simulazione basati sui processi per riprodurre lo sviluppo fenologico della vite (tempo termico, *time step* giornaliero) e l'idoneità meteorologica alle infezioni primarie e secondarie di peronospora (*time step* orario). Le componenti chiave del ciclo biologico di *P. viticola* sono state tradotte in semplici algoritmi predittivi, che sono stati eseguiti utilizzando dati

meteorologici in input e parametri epidemiologici derivati da letteratura. Tali algoritmi hanno riprodotto i processi chiave del ciclo biologico del patogeno in funzione della variabilità agrometeorologica, considerando temperatura dell'aria, umidità relativa, bagnatura fogliare e velocità del vento come dati in ingresso (*dataset* ERA5-Land di Copernicus, risoluzione spaziale di 9x9 km, periodo 2012-2017). Le unità di base per le simulazioni sono state derivate dall'intersezione con il *dataset* CORINE Land Cover. Indicatori sintetici derivati dai risultati delle simulazioni sono stati calcolati separatamente per la fenologia e il rischio di infezione. Classificatori Random Forest sono stati allenati utilizzando il rischio di infezione come variabile dipendente (70% calibrazione, 30% validazione, ntree = 1000, mtry di default). Sono state testate tre configurazioni di predittori per valutare il loro contributo incrementale all'accuratezza della classificazione: la suscettibilità fenologica (SF); la pressione stagionale del patogeno (PS, espressa come dato relativo rispetto alle simulazioni sull'intero periodo); e la previsione delle ore infettive nei sette giorni sequenti. L'accuratezza dei classificatori è stata valutata utilizzando curve multi-classe Area Under the Curve - Receiver Operating Characteristic (AUC-ROC) applicate ad ogni classe di rischio, oltre a metriche statistiche quali l'accuratezza bilanciata e il coefficiente di correlazione di Matthews.

Risultati e Discussione

La dinamica stagionale del rischio di infezione da peronospora ricavata dai bollettini fitosanitari, è mostrata in Fig. 1. Dalla valutazione degli esperti è emersa una marcata variabilità spazio-temporale del rischio di infezione erogato nel periodo 2012-2017, che evidenzia come i principi IPM siano stati assimilati e vengano correntemente impiegati nel processo decisionale da parte delle agenzie e dei servizi regionali italiani.

Le stagioni viticole 2013, 2016 e, in misura minore, 2012 sono emerse come le più predisponenti per la peronospora della vite. La cumulata della frequenza relativa del rischio di infezione delle classi 'alto' e 'molto alto' in queste stagioni ha superato il 25% e il 4%, rispettivamente, con picchi di 'molto alto' tra 15% e 33%. Il rischio di infezione ha iniziato ad aumentare a metà maggio ed ha raggiunto valori massimi a giugno. Successivamente il rischio erogato è diminuito fino a settembre, con un andamento più rapido (2013) o lento (2012, 2016) a seconda della stagione. Al contrario, le stagioni viticole 2014, 2015 e soprattutto 2017 sono state caratterizzate da una pressione ridotta della malattia. Quest'ultima annata è risultata essere la meno favorevole per la peronospora (frequenza di rischio 'molto alto' < 1%).

La Lombardia e il Veneto sono emerse come le regioni caratterizzate dal maggior rischio di infezione da peronospora, mentre la Sardegna e le Marche sono state interessate da una minore pressione della malattia. La frequenza cumulata del rischio 'alto' ha ottenuto valori maggiori in Basilicata (55%) e Abruzzo (43%) rispetto ad Emilia-Romagna (29%) e Liguria (27%). Questi risultati indicano che il processo decisionale dei servizi fitosanitari e delle agenzie regionali italiane è fortemente orientato verso i principi della difesa integrata, in quanto il rischio di infezione

è stato modulato in base alle specifiche condizioni meteorologiche stagionali e in funzione di *pattern* regionali riconoscibili.

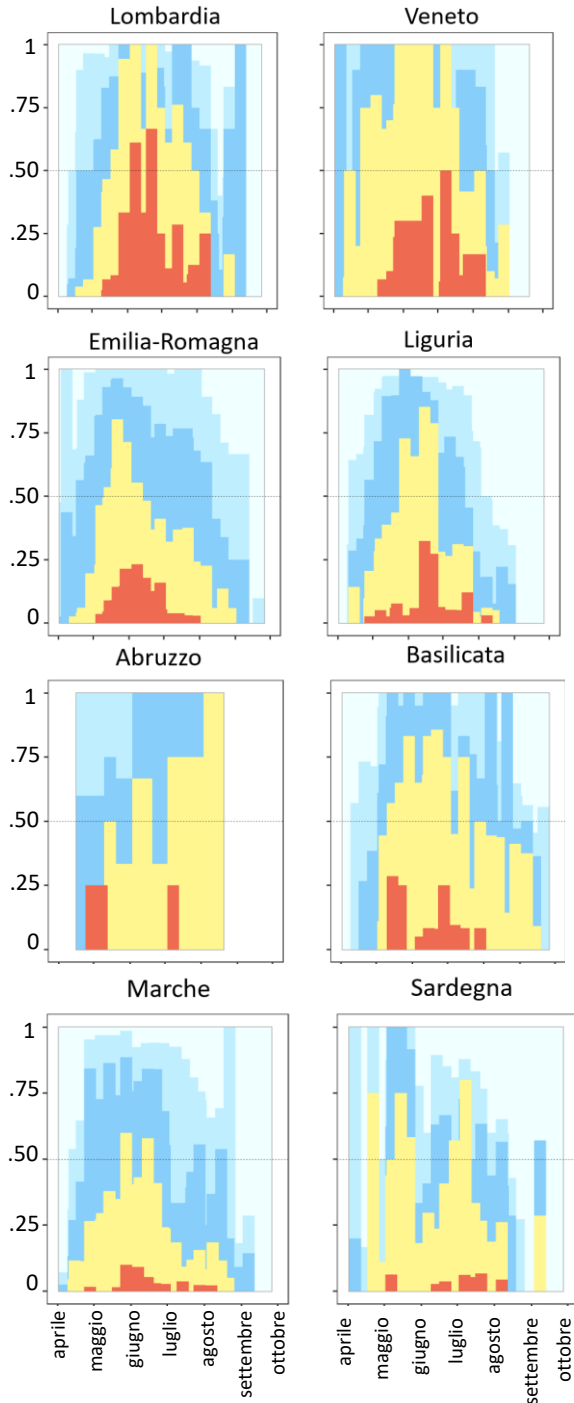


Fig.1 – Grafici a barre di frequenza relativa del rischio di infezione da peronospora derivati dai bollettini fitosanitari. Fig. 1 - Relative frequency charts of downy mildew infection risk derived from phytosanitary bulletins.

L'evidenza di condizioni più favorevoli per il patogeno nelle regioni settentrionali è in accordo con quanto riportato in letteratura e ad essere stata confermata dai tecnici e funzionari dei partecipanti dei servizi e delle agenzie

regionali. Nonostante la mancanza di dati sperimentali a conferma degli estremi di pressione della malattia nel periodo considerato, diversi articoli tecnici pubblicati in convegni nazionali (Galassi, 2018) e in riviste web (Borgo, 2014) concordano nell'evidenziare il 2013 e il 2017 come stagioni caratterizzate da un impatto della peronospora della vite eccezionalmente alto e basso, rispettivamente.

I risultati ottenuti dal classificatore Random Forest con le addestrate con i predittori del rischio di infezione da peronospora sono riportati in Fig. 2. Quando la suscettibilità fenologica è stata utilizzata come unica variabile esplicativa, l'algoritmo ha classificato correttamente l'84% del rischio 'molto basso' e il 58% del rischio 'medio', confermando la rilevanza di questa variabile nei criteri di definizione del livello di rischio da parte dei servizi e delle agenzie regionali. L'accuratezza della classificazione nelle altre classi di rischio è stata minore, con mancata previsione delle classi di rischio 'basso' e 'molto alto', e corrispondenze trascurabili del rischio 'alto' (3%). L'accuratezza della classificazione è migliorata grazie all'utilizzo della pressione del patogeno in tutte le classi di rischio (configurazione SF+PS), con una precisione del 51% per la classe di rischio 'molto alto' (51) e di oltre il 60% delle classi 'basso', 'medio' ed 'alto'.

Il coefficiente di correlazione di Matthews (MCC 0,65), e l'accuratezza bilanciata (>0,77) hanno confermato le migliori prestazioni ottenute da questa configurazione di predittori. L'inclusione delle infezioni simulate dai modelli predittivi (configurazione SF+PS+IP) tra i predittori del livello di rischio ha ulteriormente rifinito l'accuratezza della classificazione, con più del 70% di precisione in ogni classe di rischio. Il valore complessivo di MCC è salito a 0,76 e l'accuratezza bilanciata è stata compresa tra 0,85 (rischio basso) e 0,91 (rischio molto basso). L'analisi ROC-AUC multiclasse ha evidenziato un netto miglioramento delle prestazioni del classificatore, con $AUC > 0,93$ in tutte le classi.

Gli specifici algoritmi utilizzati in questo studio, pur avendo una base epidemiologica in quanto riproducono i principali processi del ciclo biologico di *P. viticola*, sono solo una delle possibili alternative per prevedere il rischio di infezione di questo patogeno. Negli ultimi decenni sono stati proposti molti altri approcci efficienti e con una solida componente biofisica per simulare le infezioni primarie (Rossi et al., 2008) e secondarie (Brischetto et al., 2021) da peronospora, o entrambe (Bove et al., 2020). L'aggiunta di tali modelli al MISFITS-DSS consentirebbe di irrobustire il servizio ed eseguire simulazioni *ensemble* per gestire l'incertezza legata alla formalizzazione alternativa del processo infettivo. Seppur semplici nella loro definizione, i risultati ottenuti con i modelli utilizzati in questo studio sono coerenti con gli studi modellistici e sperimentali disponibili in letteratura, che riportano un numero medio di infezioni primarie pari a circa 5/anno, e variabile da 3 a 8/anno nel periodo 1995-2006 in Emilia-Romagna (Rossi et al., 2008). Le ore di infezione simulate sono state comprese tra 4 e 11 (infezioni primarie) e tra 4 e 12 (infezioni secondarie). Questo dato è in linea con lo studio effettuato da Dalla Marta et al. (2005), che riporta un numero di cicli infettivi compreso tra 3 a 29 in otto anni (1995-2003) sulla varietà Sangiovese.

	416	343	419	363	41	0.27	0.6
molto basso	0.84	0.46	0.28	0.19	0.17	0.77	0.48
basso	0	0	0	0	0	0.5	-
medio	0.13	0.43	0.58	0.51	0.34	0.62	0.21
alto	0.03	0.1	0.14	0.3	0.49	0.6	0.24
molto alto	0	0	0	0	0	0.5	-
	416	343	419	363	41	0.64	0.81
molto basso	0.85	0.17	0.13	0.07	0.05	0.87	0.7
basso	0.1	0.64	0.12	0.09	0.12	0.77	0.54
medio	0.04	0.13	0.69	0.12	0.07	0.8	0.61
alto	0.01	0.05	0.05	0.72	0.24	0.84	0.71
molto alto	0	0	0	0	0.51	0.76	0.71
	416	343	419	363	41	0.77	0.88
molto basso	0.91	0.13	0.09	0.04	0	0.91	0.79
basso	0.05	0.77	0.1	0.06	0.02	0.85	0.7
medio	0.03	0.06	0.78	0.06	0.07	0.86	0.74
alto	0.01	0.04	0.04	0.84	0.17	0.9	0.82
molto alto	0	0	0	0	0.73	0.87	0.85
	molto basso	basso	medio	alto	molto alto	accuratezza	MCC

Fig. 2 – Prestazioni dei classificatori Random Forest per prevedere il rischio di infezione. Sono riportati i risultati di tre configurazioni di predittori: con suscettibilità dell'ospite (arancione), pressione della malattia (verde); con infezioni settimanali previste (blu).

Fig. 2 - Performance of Random Forest classifiers to predict downy mildew infection risk. Results of three predictor configurations are reported: host susceptibility (orange), with disease pressure (green); with weekly predicted infections (blue). Balanced accuracy (Bal. acc.) and Matthews correlation coefficient (MCC) are reported as overall (bold) and class-specific metrics.

Il servizio MISFITS-DSS è stato eseguito operativamente nella stagione viticola 2021 ed i risultati dei modelli epidemiologici sono stati trasmessi ai partecipanti all'iniziativa tramite un *dashboard* aggiornato in tempo reale, eseguendo i modelli epidemiologici con previsioni meteo settimanali. Abbiamo tenuto un incontro a metà stagione scorsa, che ha permesso di scambiare impressioni sull'andamento stagionale della malattia, con riscontri

positivi sul servizio erogato. In questa stagione abbiamo migliorato la componente informatica del servizio *cloud*, grazie ad un approccio a micro-servizi, i cui componenti sono indipendenti l'uno dall'altro poiché sono ospitati su server virtuali diversi e realizzati con diverse tecnologie di sviluppo.

Conclusioni

Per raggiungere l'obiettivo della riduzione del 50% del rischio e dell'uso dei prodotti fitosanitari entro il 2030 come previsto dalla strategia Farm to Fork della Commissione Europea è necessario lo sforzo coordinato di enti di ricerca e dei servizi e delle agenzie regionali. L'iniziativa MISFITS procede in questa direzione, mirando a colmare il divario tra lo sviluppo di metodologia scientifico-tecnologica all'avanguardia e la sua applicazione pratica, attraverso uno strumento decisionale che promuove l'implementazione delle pratiche IPM sviluppato in collaborazione con gli enti preposti al supporto delle aziende agricole. Il coinvolgimento degli utenti e lo sviluppo trasparente di metodologie e protocolli sono un segno distintivo di questa iniziativa, che attualmente sta estendendo il flusso di lavoro ad altri patosistemi. Ulteriori azioni promosse dal gruppo sono in corso per armonizzare i protocolli di monitoraggio e costituire una base pubblica di dati relativi alla gravità delle malattie delle piante. I calcoli e la logica spesso falliscono quando vengono applicati al comportamento umano: il destino di MISFITS dipenderà in gran parte dalla priorità percepita e dal conseguente supporto proveniente dai decisori politici.

Bibliografia

- Bampa F., Creamer R.E., Henriksen C.B., 2019. A Field-Scale Decision Support System for Assessment and Management of Soil Functions. *Frontiers in Environmental Science* 7.
- Bove F., Savary S., Willocquet L., Rossi V., 2020. Simulation of potential epidemics of downy mildew of grapevine in different scenarios of disease conduciveness. *European Journal of Plant Pathology* 158, 599-614.
- Brischetto, C., Bove, F., Fedele, G., Rossi, V., 2021. A weather-driven model for predicting infections of grapevines by sporangia of *Plasmopara viticola*. *Frontiers in Plant Science* 12.
- Debeljak M., Trajanov A., Kuzmanovski V., Schröder J., Sandén T., Spiegel H., Wall D.P., Van de Broek M., Rutgers M.,
- Rossi, V., Caffi, T., Giosuè, S., Bugiani, R., 2008. A mechanistic model simulating primary infections of downy mildew in grapevine. *Ecological Modelling* 212, 480-491.
- Rossi V., Ponti I., Cravedi P., 2000. The status of warning services for plant pests in Italy. *OEPP/EPPO. Bulletin* 30, 19-29.
- Shtienberg D., 2013. Will Decision-Support Systems be widely used for the management of plant diseases? *Annual Review of Phytopathology* 51, 1-16.

LA CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA DELLA SARDEGNA: GLI STUDI CLIMATOLOGICI DELL'ARPAS E GLI AGGIORNAMENTI AL 2020.

THE CLIMATIC CHARACTERIZATION OF SARDINIA: CLIMATOLOGICAL STUDIES CARRIED OUT BY ARPAS AND UPDATES TO 2020.

Alessandro Mario Sergio Delitala^{1*}, Michele Fiori¹, Giuliano Fois¹, Guido Fioravanti²

¹ ARPAS Sardegna, ARPAS – Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna, Dipartimento Meteorologico - Servizio Meteorologico, Agrometeorologico ed Ecosistemi, Viale Porto Torres, 119 – 07100 Sassari

² ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Sezione Climatologia Operativa, Via V. Brancati, 48 - 00144 Roma

*adelitala@arpa.sardegna.it

Abstract

The Regional Environmental Protection Agency of Sardinia (ARPAS) is in charge of operational climatology on the territory of Sardinia. In the last years ARPAS elaborated the climatology referred to 1981-2010 normal. The work was preceded by a thorough analysis of the existing data base for the period concerned, along with a review of stations registers of Servizio Idrografico, a quality control of data and the homogenization of the series.

The work on the data will be described in the first part of the talk and results will be shown. In the second part of the talk the 1981-2012 climatology will be compared against those elaborated by ARPAS on the former Normals (1951-1980, 1961-1990, 1970-2000). Reference to the project of elaborating 1991-2020 normal will also be made.

Parole chiave:

Normali climatologiche WMO, controlli qualità, test omogeneità, estremi climatici ETCCDI, Webgis

Keywords:

WMO Climate Normals, data quality control, homogeneity tests, ETCCDI climate indices, Webgis

Introduzione

Il presente rapporto descrive le attività svolte negli anni dal Dipartimento Meteorologico nel campo delle analisi climatologiche, con particolare riferimento al trentennio 1981-2010. Per tale analisi è stato eseguito un approfondito controllo di qualità dell'intero database e un'accurata analisi delle omogeneità delle serie (in particolare per le temperature), che hanno consentito di perfezionare la base dei dati di partenza e di ampliare il numero di stazioni; sulle serie storiche selezionate sono stati elaborati i valori climatologici mensili e annuali per il trentennio 1981-2010 sia per le temperature e le precipitazioni, nonché gli indici estremi da questi derivati (ETCCDI). Il lavoro è stato svolto in collaborazione tra il Dipartimento Meteorologico e la Sezione Climatologia operativa di ISPRA e si è articolato nelle seguenti fasi: controlli di qualità sulle serie giornaliere di precipitazione e temperatura; analisi di omogeneità per le singole serie; calcolo delle normali climatiche e realizzazione di un set di tabelle, grafici e mappe.

I risultati finali relativi ai normali climatici sono visualizzabili in forma grafica consultando l'applicazione Webgis del sito ARPAS. Per l'aggiornamento dello studio al trentennio 1991-2020, negli ultimi mesi sono state acquisite le serie annuali e si è completato l'ultimo decennio di dati,

affrontando il problema delle dismissioni delle stazioni storiche della rete tradizionale.

Elaborazione delle climatologie 1951-1980, 1961-1990 e 1971-2000

Nel corso degli ultimi decenni il gruppo di climatologia dell'ARPAS (tra il 1994 e il 2008 dell'ex-Consortio SAR) ha elaborato le climatologie delle temperature minime e massime e delle precipitazioni relative alle normali climatologiche 1951-1980, 1961-1990 e 1971-2000.

Le tre climatologie si basavano sulle serie storiche provenienti dalle seguenti fonti:

- 1) Gli Annali Idrologici dell'ex-Compartimento di Cagliari del Servizio Idrografico, disponibili dal 1922;
- 2) Le osservazioni sinottiche delle stazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (e dell'ENAV), disponibili dal 1951;
- 3) Le osservazioni delle stazioni della rete agrometeorologica dell'ex-Consortio SAR, disponibili dal 1995 al 2018;
- 4) Le stazioni dell'Università di Sassari, disponibili dal 1958 al 2011.

Le climatologie delle temperature minime e massime giornaliere sono state elaborate anche sulla normale non standard 1995-2014 (il cosiddetto *Ventennio SAR*), cioè il periodo più lungo sul quale erano disponibili serie omogenee con alta densità spaziale.

Le elaborazioni sono state precedute da un lungo lavoro di acquisizione dei dati. Nel caso degli Annali Idrologici e dei dati dell'Università di Sassari le osservazioni sono state digitate a mano partendo dalle pubblicazioni cartacee. Per le altre serie i dati erano nativi in formato elettronico oppure erano già stati digitati dall'ente gestore della rete.

L'acquisizione dei dati degli Annali idrologici è stata sicuramente la più laboriosa perché le osservazioni hanno coperto un intero secolo, con osservazioni raccolte a mano da operatori (i cosiddetti *osservatori idrografici*) e in quasi cinquecento località sull'intero territorio della Sardegna. La durata delle osservazioni e il gran numero di punti di misura ha sotteso una grande varietà di eventi sulle stazioni stesse: cambi di osservatore idrografico, spostamenti di stazioni, cambi di sensore, modifiche del contesto geografico attorno alla stazione, eventi bellici, ecc.

La serie consolidata degli Annali proviene da tre distinti processi di digitazione dei dati:

- Le digitazioni del CoRiSa, del Consorzio SAR e dell'ARPAS sulle precipitazioni dal 1929 e sulle temperature dal 1924 sino ai nostri giorni;
- Le digitazioni del Servizio Idrografico su temperature e precipitazioni dal 1922 al 2011;
- Le digitazioni dell'Università di Cagliari sulla pluviometria dal 1922 al 1930.

In particolare, i dati di cui ai punti a) e b) sono stati incrociati tra di loro per evidenziare disomogeneità ed errori di battitura. Allo scopo di individuare variazioni intervenute nella localizzazione delle stazioni e per meglio interpretare situazioni di disomogeneità riscontrate nelle serie di dati, per il periodo 1976-2017, è stata anche analizzata l'intera anagrafica degli Osservatori Idrografici ed è stato revisionato il posizionamento delle stazioni. Una volta acquisiti i dati sono stati oggetto di un attento controllo di qualità. Le tecniche di controllo si sono evolute nel corso dei decenni, sebbene abbiano mantenuto costante la logica di fondo. Di conseguenza, nel presente paragrafo si omette la trattazione dei controlli di qualità che erano stati svolti in passato, in quanto simili a quelli descritti nei paragrafi che seguono, cioè quello svolti negli ultimi anni.

Elaborazione della climatologia 1981-2010 - Definizione del database delle serie giornaliere

Per l'elaborazione della climatologia 1981-2010, nella prima fase del lavoro sono state aggregate e confrontate le serie storiche provenienti dai database del Dipartimento Meteorologico e del Servizio Idrografico Regionale.

Per ciascuna stazione si è operato un confronto sui singoli dati giornalieri a partire dal 1922 per le grandezze pioggia, temperatura minima (Tmin) e massima giornaliera (Tmax).

Stazioni Climatiche

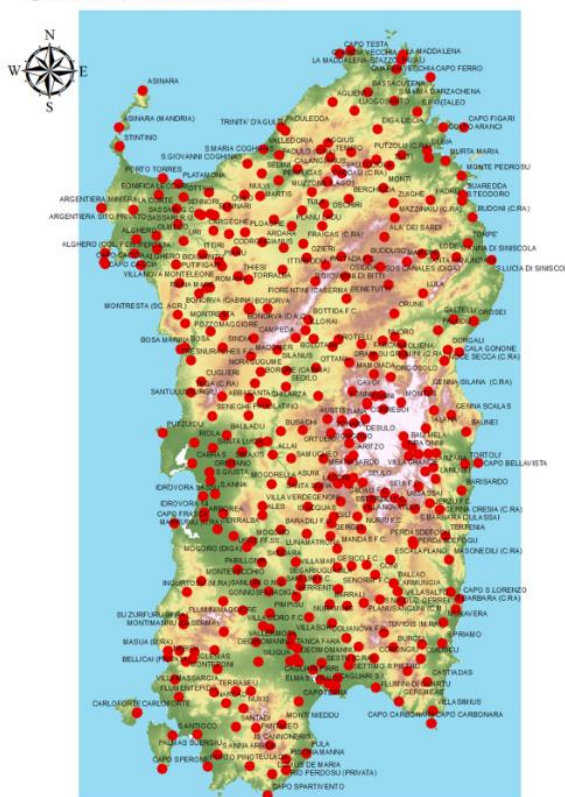


Fig. 1. Ubicazione delle stazioni considerate nell'analisi climatologica.

Fig. 1. Position for the stations used for the climatological analysis.

Tale analisi ha permesso inoltre di ricostruire le serie continue di dati precedentemente attribuiti a stazioni diverse, o al contrario "spezzare" alcune serie erroneamente attribuite ad una stessa stazione. Tutto ciò ha consentito di selezionare circa 370 stazioni dotate di pluviometro per il periodo 1922 – 2016 (Fig. 1). In un numero inferiore di stazioni (circa 290) è presente anche il termometro.

Controlli di qualità sulle serie giornaliere di precipitazione e temperatura

In questa fase sono stati eseguiti i controlli di qualità sull'intero database realizzato nella fase precedente. Si sono utilizzate delle procedure sviluppate da ISPRA (Fioravanti et al., 2016) che prevedono una sequenza di controlli, mutuati da quelli applicati al dataset globale di osservazioni meteorologiche giornaliere (Global Historical Climatological Network – GHCN; Durre et al., 2010) del National Climatic Data Center (NCDC) della NOAA. Dopo le procedure automatiche si è operata una valutazione manuale dei dati sospetti evidenziati allo scopo di valutare di volta in volta le azioni da intraprendere e salvaguardare gli eventuali falsi positivi. L'insieme dei controlli si può

dividere in quattro categorie generali e viene eseguito secondo l'ordine seguente:

- test di integrità di base,
- test per l'identificazione dei valori anomali,
- test di consistenza interna e temporale,
- test di consistenza spaziale.

Per l'**integrità di base** delle serie storiche si è analizzata la presenza di valori ripetuti, mesi o anni duplicati, le lunghe serie di valori sospetti uguali a zero e valori impossibili.

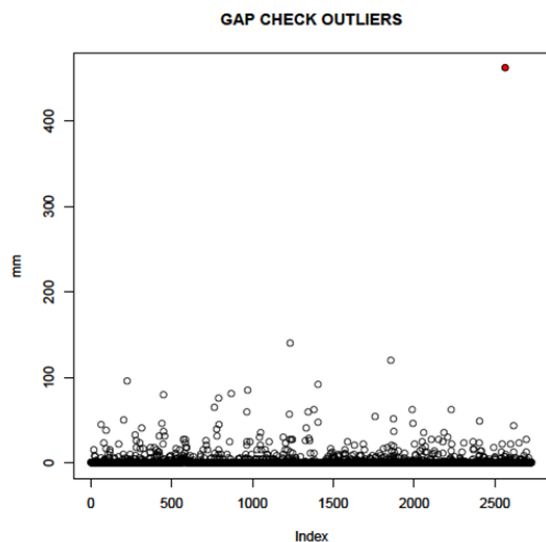


Fig. 2. Outlier di precipitazione evidenziato col Gap Check test - Stazione di Capoterra 22-10-2008, 461.4 mm.

Fig. 2. Outlier of precipitation highlighted with Gap Check test - Station of Capoterra 22-10-2008, 461.4mm.

Nel caso delle temperature vengono ricercate sequenze di 10 o più valori identici saltando gli eventuali dati mancanti. Nel caso delle serie di precipitazione il controllo ha evidenziato le sequenze di 180 o più valori nulli consecutivi. Il test successivo identifica le duplicazioni di sequenze di dati giornalieri in diversi periodi di tempo (nello stesso anno o in anni diversi). L'ultimo controllo individua i valori di temperatura e precipitazione impossibili: es. temperatura massima superiore a 50 °C o inferiore a -30 °C. Per identificare i **valori anomali** (*outliers*) sono stati utilizzati due metodi diversi: un test che individua un eventuale salto nella serie di dati (*gap check*) e un controllo climatologico. Il *gap check*, che si applica sia alle serie di temperatura sia a quelle di precipitazione, analizza i valori che si trovano nelle code della corrispondente distribuzione e ne individua quelli che risultano eccessivamente distanti (superiore alla soglia fissata - *gap*) e quindi separati in maniera poco realistica dal resto della distribuzione. Per la precipitazione il massimo *gap* consentito è stato fissato a 300 mm. La Fig. 2 mostra l'applicazione del test ad una serie di precipitazione e

l'individuazione di un *outlier*, in questo caso un falso positivo (Stazione di Capoterra, 22-10-2008, 461.4 mm).

Il controllo climatologico si basa invece sul confronto di ogni valore della serie da testare con alcuni parametri ricavati dall'intera serie, per lo stesso periodo dell'anno: test *z-score* per la temperatura e test basato sui percentili per la precipitazione.

I test di **consistenza interna e temporale** si riferiscono alle serie di temperatura massima e minima e controllano sia le violazioni fisiche fra due o più parametri sia le variazioni eccessivamente ampie di un valore con quello del giorno precedente e successivo.

I test di **consistenza spaziale**, hanno l'obiettivo di identificare i valori anomali non individuati dai precedenti test, tramite il confronto tra il valore registrato nella stazione target e le osservazioni rilevate nelle stazioni limitrofe. Le serie di temperatura massima e minima sono state sottoposte sia al test di regressione spaziale sia al *corroboration* test. I controlli spaziali non sono stati applicati alle serie di precipitazione.

Il test di regressione identifica per ogni mese di ciascun anno un modello di regressione tra la serie di temperatura (minima o massima) nella stazione target e una corrispondente serie di temperatura, stimata a partire dalle serie delle stazioni limitrofe opportunamente selezionate

Il *corroboration* test verifica se il valore da testare cade significativamente fuori dall'intervallo dei valori registrati nelle stazioni vicine. Il *corroboration* test e il controllo di regressione spaziale per la temperatura si completano a vicenda in quanto il primo può essere applicato in giorni e luoghi in cui il controllo di regressione spaziale non può essere utilizzato, per esempio per mancanza di serie sufficientemente complete per il calcolo della regressione, oppure nei casi in cui si ottiene una correlazione troppo bassa fra la serie osservata della stazione target e quella stimata.

Analisi di omogeneità per le singole serie

Al termine dei controlli di qualità, prima di procedere al calcolo degli indicatori climatici si è proceduto ad analizzare l'omogeneità delle serie di dati all'interno del trentennio climatico 1981-2010. Le cause più frequenti di disomogeneità artificiali (*breakpoint*) nelle serie temporali sono lo spostamento della stazione di misura, la sostituzione della strumentazione, i cambiamenti nell'esposizione dello strumento, l'adozione di nuove procedure di elaborazione dei dati. I test di omogeneità possono essere distinti in metodi assoluti (Wijngaard et al., 2003) e metodi relativi (Dunn et al., 2014). I primi valutano l'autoconsistenza di ciascuna serie di dati, mentre i secondi valutano la consistenza del segnale climatico della serie candidata utilizzando una o più stazioni limitrofe di riferimento.

L'omogeneità delle serie di precipitazione giornaliera è stata valutata mediante l'utilizzo di test assoluti di omogeneità applicati alle serie annuali del numero di giorni con pioggia (*wet days*). Delle 181 serie di precipitazione disponibili (che rispettano i criteri di completezza) 160 sono state classificate

come *useful*, 8 come *doubtful* e 13 come *suspect*. Queste ultime sono state scartate dal calcolo dei valori normali. Per la temperatura si è analizzata l'omogeneità delle serie e, laddove possibile, si è condotta una omogeneizzazione. L'analisi di omogeneità e di omogeneizzazione dei valori giornalieri di temperatura è stata condotta mediante il pacchetto Climatol di R, che individua i potenziali *breakpoint* in una serie candidata utilizzando più stazioni di riferimento relativamente vicine, rappresentative della regione climatica a cui appartiene la serie candidata.

Calcolo delle normali climatologiche 1981-2010

La procedura di calcolo delle normali climatologiche è stabilita dal WMO e prevede diversi requisiti di completezza e continuità delle serie (WMO, 2017). Per i parametri rappresentati dalla somma, come la precipitazione cumulata, un cumulato mensile è considerato valido solo se sono presenti i dati di tutti i giorni. Per i parametri climatici rappresentati dal valore medio, come la temperatura, si è optato per considerare una soglia di dati mancanti più ampia, pari a 10 giorni mancanti, dei quali non più di 4 consecutivi. Per poter calcolare il normale mensile, come media dei valori nei diversi anni, sia di temperatura che di precipitazione, è richiesto l'80% dei valori della serie del trentennio (almeno 24 anni di dati).

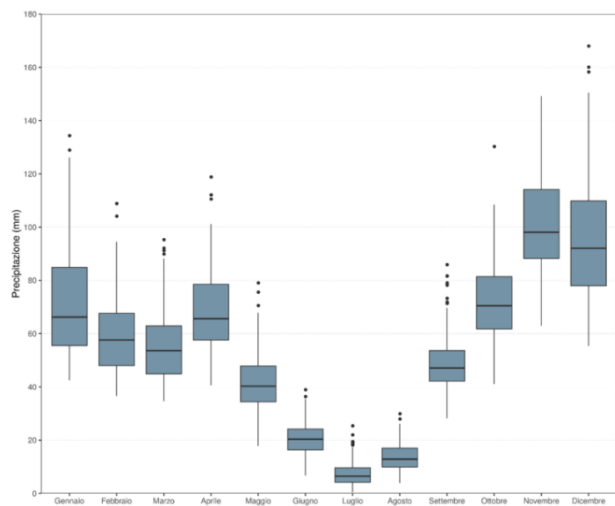


Fig. 3. Distribuzione dei cumulati climatologici mensili di precipitazione per il trentennio 1981-2010 in forma di boxplot.
Fig. 3. Distributions of climatological monthly totals of precipitation for 1981-2010 in box-plot form.

Tuttavia, sono stati presi in considerazione anche periodi inferiori al trentennio per il calcolo dei valori climatici, sulla base di quanto riportato anche nella sezione “Use of shorter averaging periods” del WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (2017). Questi valori sebbene non debbano essere intesi come valori climatologici standard, possono comunque essere utili agli utilizzatori finali.

Le stazioni per cui è stato possibile calcolare i valori climatologici standard sono indicate con la lettera A, mentre le stazioni che forniscono valori climatologici non standard sono contrassegnate con la lettera B (medie costruite su almeno 20 anni di dati disponibili) e con la lettera C (costruite su almeno 15 anni di dati). Il calcolo dei valori normali annuali si basa sulla media (per la temperatura) o sulla somma (per la precipitazione) dei corrispondenti 12 valori normali mensili. Nel caso in cui manchi uno dei valori normali mensili il valore normale annuale non viene calcolato. Nella Fig. 3 sono raffigurate, in forma di *boxplot*, le distribuzioni dei cumulati climatologici mensili di precipitazione per le stazioni selezionate (*useful* e *dubfuf*).

Estremi climatici

Per descrivere gli estremi di temperatura e precipitazione in termini di frequenza, intensità e durata sono stati claocltai alcuni degli indici definiti dall'Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) del“CCL/CLIVAR Working Group on Climate Change Detection”, utilizzando il pacchetto R *climindex.pcic* (<https://cran.r-project.org/package=climindex.pcic>), basato sull'elaborazione di dati giornalieri di temperatura massima, temperatura minima e precipitazioni. In particolare sono stati elaborati 7 indici di temperatura e 9 indici di precipitazione.

Pubblicazione dei dati

Per la consultazione dei dati climatici risultanti dallo studio climatologico del trentennio 1981-2010 è stata realizzata un'applicazione (*storymap*) in ambiente webgis in cui per ciascun indicatore è possibile visualizzare sulla mappa i relativi dati su ciascuna stazione analizzata (Fig.4).

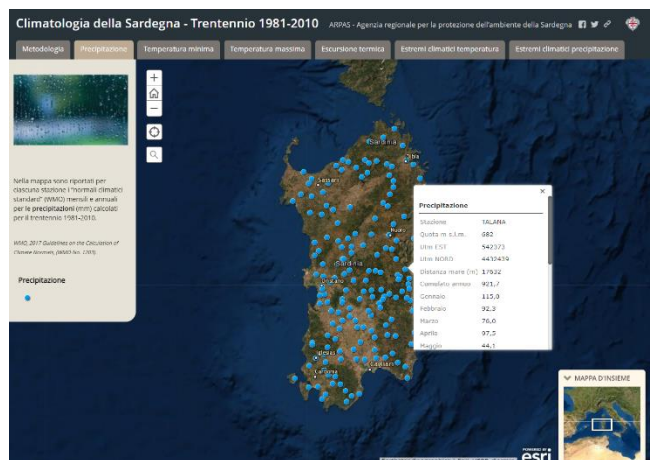


Fig. 4. Applicazione ArcGIS Online per la pubblicazione dei dati climatici 1981-2010.
Fig. 4. Application of ArcGIS Online for the publication of climatological data 1981-2010.

Integrazione dell'ultimo decennio e aggiornamento della climatologia al 1991-2020

In vista dell'aggiornamento della climatologia al trentennio 1991-2020, si è effettuata una ricognizione dei dati disponibili per l'ultimo decennio, relativi alle stazioni delle diverse reti gestite da ARPAS; in particolare va sottolineato che nell'ultimo decennio si è avuta la progressiva riduzione delle stazioni storiche in attività, mentre sono andate aumentando le stazioni della Rete Fiduciaria (RF) e della Rete Unica Regionale che oltre ad aver sostituito le stazioni della rete dell'ex Servizio Agrometeorologico Regionale (Consorzio SAR) hanno continuato l'aggiornamento delle stazioni storiche. Relativamente alle stazioni dell'ex Servizio Agrometeorologico Regionale (SAR)/Rete Unica Regionale si dispone di dati per un periodo di circa 20-25 anni (con riferimento soprattutto alle stazioni ex SAR), mentre le serie della Rete Fiduciaria abbracciano circa un quindicennio. Si è effettuata un'aggregazione tra le vecchie stazioni con le nuove, laddove possibile, individuando quelle più prossime e con caratteristiche del sito analoghe. Su questa base dati aggiornata si sono avviate le varie procedure di analisi di qualità dei dati in collaborazione con ISPRA e sono state effettuate le prime elaborazioni preliminari sia per i valori normali climatologici sia per gli indici di estremi climatici derivati.

Bibliografia

- Chessa, P., Delitala, A., 1997. Il Clima della Sardegna, SAR, Sassari. pp. 200.
- Chessa, P.A., Delitala, A.M., 1997. Objective Analysis of Daily Extreme Temperatures of Sardinia (Italy) Using Distance from the Sea as Independent Variable. *Int. Jou. Climatol.*, 17, 1467-1485.
- Delitala, A.M.S., 2014. Replacing mechanic thermometers with electronic thermometers in a Mediterranean test station and its impact on climatology. *Thetys*, 11, 51-61.
- Durre I., Menne M.J., Gleason B.E., Houston T.G. and Vose R.S., 2010. Comprehensive automated quality assurance of daily surface observations, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 8, 1615-1633.
- Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., Desiato F., 2016. Controlli di qualità delle serie di temperatura e precipitazione. Rapporto ISPRA 66/2016.
- Fioravanti G., Piervitali E., Desiato F., 2019. A new homogenized daily data set for temperature variability assessment in Italy. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.6177>.
- Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T. C., Wieringa J., 2003. Guidelines on climate metadata and homogenisation. World Meteorological Organization, WMO-TD No. 1186, WCDMP No. 53, Geneva, Switzerland, 55 pp.
- Guijarro, J.A., 2017. Daily series homogenization and gridding with *Climatol v.3*. In: Ninth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and Fourth Conference on Spatial

- Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 3-7 April, 2017. Geneva: WMO, WCDMP- No. 85.
- Wijngaard A. M., Klein Tank G., Konnen G. P., 2003: Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *Int. J. Climatol.* 23, 679-692.
- Dunn R. J. H., Willett K. M., Morice C. P., Parker D. E., 2014. Pairwise homogeneity assessment of HadISD. *Clim. Past*, 10, 1501-1522, 2014.
- WMO. World Meteorological Organization; Geneva, Switzerland, 2017. Guidelines on the Calculation of Climate Normals, (WMO-No. 1203).
- Anderson C.I., Gough W.A., 2018. Accounting for missing data in monthly temperature series: Testing rule-of-thumb omission of months with missing values - *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.5801>

LA PIATTAFORMA AGROMETEOROLOGICA PER IL SUPPORTO ALLE DECISIONI IN AGRICOLTURA

THE AGROMETEOROLOGICAL PLATFORM FOR DECISION SUPPORT IN AGRICULTURE

Gianni Fenu^{1*}, Francesca Maridina Mallocci^{1*}

¹Università degli Studi di Cagliari

* fenu@unica.it, francescam.mallocci@unica.it

Abstract

The Agrometeorological platform is a multi-user / multi-device platform, with functions of decision support system, for the management of fields, through the use of predictive algorithms and dynamic data analysis. The LAORE Sardegna Agency, which deals with providing consulting, information, training and assistance services to the agricultural sector, has developed in collaboration with the University of Cagliari, Department of Mathematics and Computer Science, this platform which, implemented following a cycle of incremental development, provides a tool that can assist LAORE staff, and in general the various actors involved in monitoring activities on the territory, in the formulation and choice of the most appropriate decision-making strategies to be used in situ. The platform is structured in technical modules and related services accessible independently from the devices used.

Parole chiave

Sistemi di Supporto alle Decisioni; Agricoltura di Precisione; Modelli Agrometeorologici.

Keywords

Decision Support Systems; Precision Agriculture; Agrometeorological Models.

Introduzione

I Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS), sono definiti in letteratura come sistemi informatici in grado di raccogliere, organizzare ed analizzare una grande mole di dati al fine di facilitare il processo decisionale aziendale risolvendo problemi strutturati e semi-strutturati. Dal loro primo sviluppo risalente agli anni '70, hanno progressivamente assunto connotazioni diverse e significative, in base all'ambito applicativo.

Recentemente sono entrati nel settore agricolo come strumento chiave per una gestione efficiente e sostenibile dell'azienda agricola. Finora le scelte degli operatori agricoli sono state intraprese sulla base di esperienze, usi e pratiche tramandate di generazione in generazione. Con l'avvento dei cambiamenti climatici e il continuo susseguirsi dei disastri naturali, si è reso necessario coniugare il know-how con strumenti per l'analisi e l'elaborazione di dati scientifici ed oggettivi, in grado di consentire all'operatore di essere propositivo, fornendo a quest'ultimo le informazioni utili per adoperare in campo interventi selettivi e sistematici calibrati sulle reali esigenze della coltura. La riduzione degli *input chimici*, quali fertilizzanti, prodotti fitosanitari e la riduzione degli *input naturali*, quali acqua, suolo ed energia, sono diventati un prerequisito per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità e realizzare il processo di trasformazione del paradigma produttivo, noto come *Agricoltura di Precisione (AP)*.

Nell'ottica di un uso sostenibile degli input chimici, la direttiva europea n. 128/2009 chiede agli Stati Membri di garantire la presenza di strumenti che forniscano agli agricoltori l'accesso alle informazioni necessarie per intraprendere corretti interventi operativi. I Sistemi di

Supporto alle Decisioni, sono oggi lo strumento che certamente risponde alle esigenze emerse.

In tale contesto, l'Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Matematica ed Informatica, ha sviluppato per conto dell'Agenzia LAORE Sardegna, un sistema di supporto alle decisioni, sotto il nome di *piattaforma Agrometeorologica*, per supportare il personale LAORE, e in generale i vari attori coinvolti nelle attività di monitoraggio sul territorio, nella formulazione e nella scelta delle strategie decisionali più adeguate da adoperare in situ, al fine di ottimizzare l'uso delle risorse, prevedere le situazioni di rischio colturale, ed evitare interventi superflui, costosi e improduttivi.

Il presente lavoro si propone di trattare nel paragrafo *Materiali e Metodi* la struttura, gli algoritmi e le funzionalità costituenti la piattaforma Agrometeorologica, altresì delineando le prospettive future di sviluppo. Nel paragrafo *Conclusioni* un quadro riassuntivo dei risultati ottenuti.

Materiali e Metodi

Obiettivi

La *piattaforma Agrometeorologica* si pone come strumento di supporto ed assistenza, e non sostitutivo, del personale LAORE nei servizi di consulenza aziendale adeguati ai vari tipi di produzioni coltivate nella regione. A tal proposito, si prefigge come obiettivi:

- (i) supportare l'attività di monitoraggio con un sistema integrato e automatizzato, elaborando i dati raccolti con strumenti di modellazione, *data-mining* e *data-analysis*. Al fine di consentire, per ciascuna area monitorata:

- la valutazione e la previsione dei rischi colturali legati a fattori climatico-ambientali;
 - aumentare la qualità e l'efficacia delle informazioni necessarie per vagliare le decisioni;
- (ii) facilitare lo scambio di informazioni tra i diversi attori regionali operanti nel campo del monitoraggio e del controllo del territorio, nonché facilitare la trasmissione dei dati agro-statistici al Ministero;
- (iii) rafforzare ed automatizzare il processo di redazione del notiziario fitosanitario rivolto agli operatori agricoli, sulla base di dati scientifici ed oggettivi.

Architettura e funzionalità

Per traguardare gli obiettivi preposti, il supporto al processo decisionale è stato basato su un ciclo, suddiviso in tre fasi:

- (i) raccolta, organizzazione ed integrazione dati multidimensionali e multisorgente;
- (ii) analisi, estrazione ed interpretazione dei *pattern* nei dati;
- (iii) visualizzazione e fruizione dei risultati mediante una GUI (*Graphical User Interface*) intuitiva e di facile utilizzo;

La struttura architeturale della stessa, è stata progettata in moduli tecnici e servizi correlati fruibili indipendentemente dai *device* impiegati. Il sistema si compone di tre elementi costitutivi, come mostrato in *figura 1*:

- (i) un *sistema integrato* con le stazioni di monitoraggio agrometeorologiche dell'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente della Sardegna ARPAS; Il sistema è configurato per acquisire i dati con modalità ed intervalli temporali a cadenza fissa. Tra i parametri rientrano: temperatura (°C), umidità relativa (%), velocità del vento (km/h) e direzione, accumulo di precipitazioni (mm) e radiazione solare (W/m²);
- (ii) un *sistema di modellazione ed analisi dei dati* in grado di armonizzare la collezione dati scaturita dal sistema integrato e dalle attività di monitoraggio di campo, individuare le relazioni tra gli stessi, delineare previsioni a breve termine, al fine di fornire una comprensione territoriale e temporale degli areali di interesse;
- (iii) un *applicativo multi-piattaforma*, in gergo tecnico *cross-platform*, per la raccolta dei dati presso gli areali di monitoraggio e per l'accessibilità e la consultazione degli output dei modelli mediante dei cruscotti interattivi e intuitivi, detti *dashboards*, che consentono di navigare facilmente e velocemente dall'elaborazione di sintesi al dettaglio. La piattaforma è fruibile da diversi dispositivi fissi e mobili (e.g. smartphone, tablet, e desktop) con sistema operativo *Windows, MacOS, Android e iOS*.

Lo *stack* di moduli tecnici fruibili dall'*applicativo cross-platform* è articolato come segue (vedi figura 1):

- *modulo amministrativo*, gestisce la profilazione delle aziende e degli appezzamenti, nonché la profilazione degli utenti suddivisi in tre categorie, in base ai privilegi di amministrazione;
- *modulo rilevamento coltura*, si occupa dell'acquisizione dei dati statici e dinamici caricati dai tecnici durante i rilievi in campo;
- *modulo meteo*, gestisce i dati meteorologici, fornendo un quadro riepilogativo delle misurazioni giornaliere, oltre agli indicatori meteorologici. Gli *output* possono essere scaricati in locale, in diversi tipi di formato;
- *modulo modellazione dati*, prende in carico le richieste dell'utente di visualizzare correttamente gli output dei modelli matematici e di *data analytics*;
- *modulo dashboard*, fornisce una dashboard interattiva, in cui è possibile visualizzare ed esportare tabelle, grafici e altri indicatori di coltura generati sulla base dei dati acquisiti dal *modulo meteo e di rilevamento coltura*.

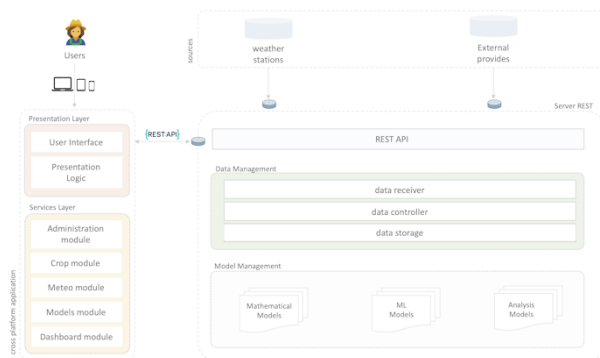


Fig. 1 - Architettura della Piattaforma Agrometeorologica.
Fig. 1 - Architecture of the Agrometeorological platform.

Nello sviluppare la piattaforma, una particolare attenzione è stata posta nell'attuare le linee di indirizzo impartite dal D.lgs. n. 82/2005, noto come Codice dell'Amministrazione Digitale - CAD, in materia di *interoperabilità tecnica* e *accessibilità dei dati* trattati dalla pubblica amministrazione. Per garantire l'*interoperabilità* del sistema posto in esercizio, e una più ampia diffusione dei dati territoriali verso altre pubbliche amministrazioni richiedenti, nel rispetto della normativa in materia di protezione dei dati personali, la *piattaforma Agrometeorologica* è stata progettata seguendo il modello architettuale *REpresentational State Transfer (REST)*. Tale adozione architeturale, ha consentito di realizzare ed esporre delle *Application Programming Interface (API)*, basate sul concetto di *risorsa*, intesa come qualsiasi informazione a cui è possibile fare riferimento con un identificatore, seguendo il formalismo *Uniform Resource Identifier (URI)*. L'approccio "*API first*" ha favorito la separazione dei livelli di *backend* e *frontend*, delineando le proprie API come elemento tecnologico di base per rendere disponibile verso altre amministrazioni o altri soggetti con

cui è stabilita una relazione di fiducia, gli *e-service* fruibili nella piattaforma stessa.

Il *work-flow* del sistema è rappresentato graficamente in *figura 2*. Il supporto decisionale, la previsione e la categorizzazione dei rischi colturali, sono riferiti a singoli appezzamenti, detenuti da aziende agricole usufruttuarie dell'assistenza tecnica dell'Agenzia LAORE, con caratteristiche varietali, di sesto e densità di impianto e condizioni di terreno peculiari per ciascuna di esse. Allo stato attuale, i tecnici abilitati nella piattaforma, forniscono assistenza tecnica per dieci colture: agrumi, carciofo, frumento, mais, olivo, patata, pesco, pomodoro, riso e vite. L'appezzamento è registrato *una tantum* dal tecnico rilevatore che mediante indagini sul campo alimenta il sistema con dati statici (i.e. che non variano nel corso della stagione) e dinamici (i.e. che variano nel corso della stagione). Il caricamento è effettuato attraverso una scheda che raccoglie, organizza ed integra le informazioni sito-specifiche statiche e dinamiche, distinte rispettivamente in *Scheda Iniziale* e *Scheda Periodica*. La singola scheda prende in considerazione vari aspetti della gestione della coltura di interesse: operazioni colturali, produzione, concimazioni, trattamenti, fasi fenologiche, avversità parassitarie, avversità non parassitarie, avversità climatiche, catture, infestazione attiva, infestanti, esami di laboratorio. Ogni singolo appezzamento riceve i dati rilevati dell'areale per mezzo di sensori (i.e. stazioni meteo) e monitoraggi *in situ* a cadenza fissa per tutta la durata della campagna di rilevamento. In seguito, ai dati acquisiti è applicato un processo automatizzato di validazione, al fine di assicurare alti livelli di confidenza e affidabilità dello stesso. Il dato così validato, è fornito in ingresso ai modelli matematici e di *data analytics*, anche a carattere predittivo, i cui *output* fluiscono in varie *dashboards user-friendly* che consentono all'utente di:

- (i) esplorare i dati da diversi punti di vista;
- (ii) traguardare le diverse esigenze operative.

Per assicurare l'usabilità e l'accessibilità delle informazioni visualizzate tramite *dashboards*, altresì è stata posta la massima attenzione nella creazione di interfacce semplificate, adattive e dinamiche che potessero essere usate prontamente nei rilievi di campo, impiegando un dispositivo mobile; svincolando in tal modo l'utente finale dalla postazione di lavoro fissa. Per garantire un servizio ottimale, è stato intrapreso sin dalle prime fasi di progettazione un processo di inclusione degli utenti finali, che ha ridotto al minimo il cosiddetto "*problem of implementation*".

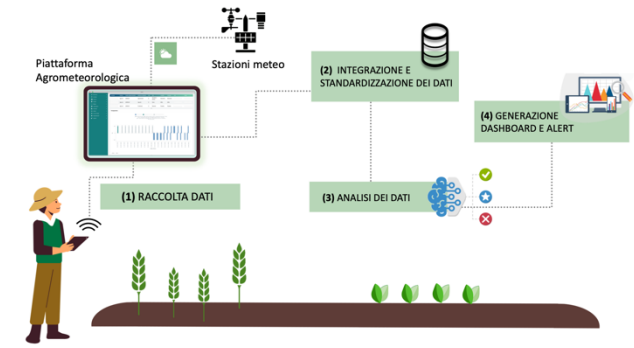
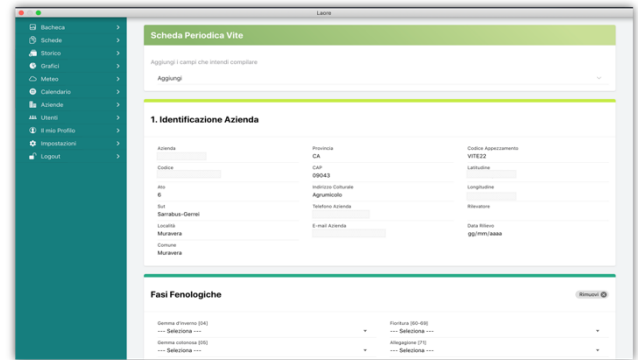


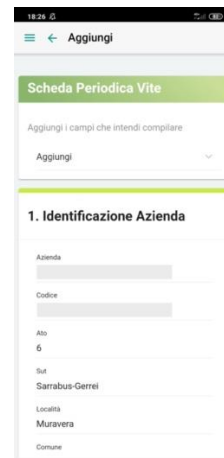
Fig. 2 – Macro processi della piattaforma.

Fig. 2 – Work-flow of the platform.

In figura 3 e 4, a titolo esemplificativo si riportano alcune schermate della *piattaforma Agrometeorologica*.



(a)



(b)

Fig. 3 – Scheda Periodica. (a) Scheda impiegata dai tecnici durante il monitoraggio di campo per il caricamento dei dati dinamici, visualizzata su un dispositivo fisso. (b) la medesima schermata, consultata su un dispositivo mobile. Nel rispetto della normativa in materia di protezione dei dati personali, le informazioni sensibili sono state oscurate.

Fig. 3 - Field Survey Window. Screen showing the field survey used by technicians during on-site monitoring. For privacy reasons, sensitive information has been obscured.

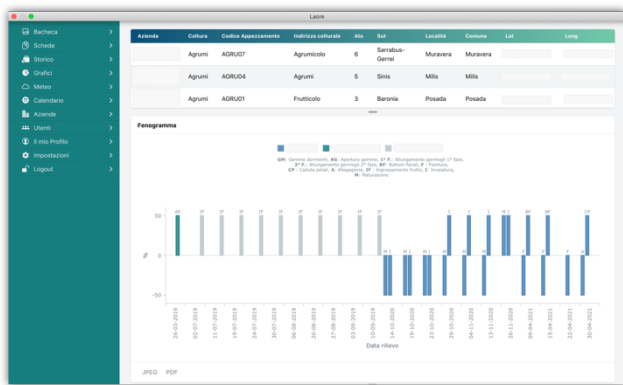


Fig. 4 – Dashboards. Grafico a barre che dettaglia il fenogramma comparativo di tre aziende agricole proprietarie di agrumi. Nel rispetto della normativa in materia di protezione dei dati personali, le informazioni sensibili sono state oscurate.

Fig. 4 - Dashboard window. Screen showing the comparative phenogram of three companies owning citrus groves. For privacy reasons, sensitive information has been obscured.

Allo stato attuale, nella *piattaforma* sono stati mutuati diversi modelli matematici e previsionali, le cui funzionalità differiscono per *output* atteso, e.g. previsione del rischio infettivo, previsione della fase fenologica, previsione dello stato di salute.

Alcuni di questi, sono integrati e validati nella *piattaforma*, indicati nel seguente elenco con il triangolo, altri sono in fase prototipale, contrassegnati con un cerchio, e altri in fase di sviluppo etichettati con un quadrato:

- Modello Bagnatura foglieare;
- Modello Peronospora Vite BRAZIL;
- Modello Peronospora Vite CREA;
- △ Modello Peronospora Patata IPI;
- Modello Oidio Vite LAORE;
- Modello Peronospora Vite LAORE;
- Modello Cicloconio Olivo LAORE_FR;
- △ Modello Cocciniglia Agrumi DD;
- △ Modello Gradi Giorno DD;
- Modello Oidio Pomodoro UCDAVI;
- Modello Fusarium Grano IDM FHB;
- Modello Alternaria Cucurbitacee MELCAST;
- Modello Monilia Drupacee SUI_MON;
- Modello Brusone Riso BRUSAR.

Stato dell'arte e sviluppi futuri

Le funzionalità sopracitate, sono state oggetto di una lunga fase di collaudo, in cui le singole parti sono state testate al fine di individuare la presenza di *bug*, *malfunzionamenti* e verificare la rispondenza ai risultati attesi sulla base dell'obiettivo. Nel corso degli anni la *piattaforma* ha visto un continuo miglioramento ed ottimizzazione dei sistemi di interrogazione e consultazione delle informazioni. L'impatto sull'azione amministrativa ha avuto un apporto positivo e significativo nel rendere più fluidi ed efficienti i processi sia

nel c.d *back office* (attività interna alla p.a.) che nel c.d. *front office* (relazione con il pubblico). A ragion veduta, si intende adattare ed ampliare sempre più l'intero comparto funzionale della *piattaforma* alle esigenze dell'Agenzia LAORE Sardegna, declinate nelle molteplici attività istituzionali. In tale contesto, alcune progettualità in corso d'opera sono legate all'esigenza di mappare il dato sito-specifico rilevato in macro-aree geografiche, sulla base dei punti di monitoraggio già profilati all'interno della *piattaforma Agrometeorologica*.

A tal fine, è in fase prototipale, lo sviluppo del sistema di interrogazione e consultazione del dato legato alla macro-area territoriale di riferimento. Esso vedrà l'impiego di una mappa geografica della regione Sardegna, in cui per ogni sito di monitoraggio, in seguito al click dell'utente sul punto di interesse, si otterranno dal sistema le informazioni territoriali, e gli output scaturiti dai modelli per il singolo punto e per la macro-area di riferimento, al fine di disporre di una comprensione complessiva territoriale.

In primo luogo, gli appositi cruscotti permetteranno di partire da un'aggregazione a livello regionale, per poter poi consultare, con pochi click del mouse, i dati di sintesi di una singola azienda.

La medesima, consentirà di espletare ulteriori analisi quantitative utili alla redazione del notiziario fitosanitario finalizzato alla segnalazione delle avversità a carico delle principali colture, rilasciato periodicamente dall'Agenzia LAORE Sardegna agli operatori agricoli del territorio regionale.

Conclusioni

Nel presente lavoro, è stata illustrata la *piattaforma Agrometeorologica* attualmente in esercizio presso l'Agenzia LAORE Sardegna, sviluppata in collaborazione con l'Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Matematica ed Informatica. La *piattaforma* opera acquisendo dati eterogenei provenienti da una rete di sensori meteo, programmi di monitoraggio e di rilievi agrometeorologici al fine di supportare l'azione amministrativa di consulenza dell'Agenzia LAORE rivolta agli agricoltori del territorio.

Per conseguire tale obiettivo e garantire un servizio ottimale, il sistema per il monitoraggio e la previsione agrometeorologica è stato realizzato seguendo il modello architetturale REST, il cui utilizzo ha permesso di garantire l'interoperabilità del sistema rendendo disponibili e accessibili i dati fruibili nella *piattaforma* stessa, nonché garantire un servizio strutturato e maggiormente mantenibile. Il suo impiego permette di beneficiare dei vantaggi derivanti dall'uso delle tecnologie che impiegano una grande mole di dati per trasformare le informazioni in linee guida accurate che consentano di procedere con un'agricoltura più precisa, sostenibile, ed economica.

Bibliografia

- Keen P. G. W., 1978. Decision support systems: The next decade. *Decision Support Systems*, 3: 253 - 265.
- Fenu G., Mallocci F. M., 2021. Lands DSS: A Decision Support System for Forecasting Crop Disease in Southern Sardinia. *International Journal of Decision Support System Technology*, 3, 1: 21–33.
- Fenu G., Mallocci F. M., 2021. Forecasting Plant and Crop Disease: An Explorative Study on Current Algorithms. *Big Data Cogn. Comput.*, 5 (1): article id 2.
- Codice dell'amministrazione digitale 2021. Decreto legislativo, testo coordinato 07/03/2005 n° 82, G.U. 16/05/2005.
- Taechatanasat P., Armstrong L., 2014. Decision support system data for farmer decision making. *Australian Society of Information and Communication Technologies in Agriculture*, 1: 472-486.
- Rossi V., Salinari F., Poni S., Caffi T., Bettati T., 2014. Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: the example of vite net@. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100: 88-99.
- Shim J. P., Warkentin M., Courtney J. F., Power D. J., Sharda R., Carlsson C., 2002. Past, present, and future of decision support technology. *Decision support systems*, 33(2): 111-126.
- McCown R. L., 2012. A cognitive systems framework to inform delivery of analytic support for farmers' intuitive management under seasonal climatic variability. *Agricultural Systems*, 105(1): 7-20.

I SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI A SERVIZIO DEL MONITORAGGIO IN AGRICOLTURA

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AT THE SERVICE OF MONITORING IN AGRICULTURE

Salvatore Aresu¹, Francesca Fantola^{1*}, Marco Secondo Gerardi¹, Alessandro Melis¹, Marcello Onorato¹, Angela Scano¹, Paolo Schirru¹

¹ Servizio Sviluppo e sostenibilità delle Attività Agricole – Agenzia Laore

*francescafantola@agenzialaore.it

Abstract

The methods and results achieved with the use of the GIS of the following two activities will be presented:

- assessment and delimitation of damage to farms caused by the meteorological event of the frosts that affected much of the territory of the Sardinia Region in the first decade of April 2021;
- spatialisation of the infectious index of Brusone on the rice sector of the Oristano area - central western Sardinia
- spatialisation of the results of the control of sprayers at farm and municipal level

Parole chiave

Spazializzazione, monitoraggio, gis

Keywords

Spatialization, monitoring, SIT

Introduzione

Il Servizio scrivente svolge numerose azioni rivolte all'azienda agricola sia come assistenza diretta con visite e consigli tecnici sia sempre di più come servizi e creazione di supporti decisionali che aiutino l'azienda ad attuare una gestione sostenibile ed integrata in linea con le indicazioni della Politica nazionale e comunitaria.

Il PAN raccomanda che “la gestione integrata dei parassiti è un processo iterativo che pone le misure agronomiche preventive al centro del controllo dei parassiti della produzione agricola vegetale”.

Per perseguire una gestione sostenibile delle aziende agricole, sia in termini di redditività degli agricoltori che di recupero e sostenibilità ambientale, è di fondamentale importanza rispettare le condizioni di salubrità dell'ecosistema produttivo, attraverso il mantenimento e ripristino della fertilità dei suoli con sistemi di lavorazione conservativi e la riduzione dell'uso di pesticidi.

I sistemi informativi geografici, di cui il Servizio Sostenibilità e Sviluppo delle attività agricole si avvale per la conoscenza e gestione delle problematiche dell'ambiente agricolo, sono di supporto per la diffusione dei servizi di previsione e allerta del rischio fitosanitario e per la analisi della consapevolezza sull'uso corretto delle macchine irroratrici e sul quantitativo del prodotto fitosanitario usato. Sarà anche descritto un articolato lavoro di monitoraggio del danno dalla gelata che ha colpito la Sardegna nella prima decade di Aprile 2021, con confronto tra le mappe meteorologiche ed i rilievi in campo.

Materiali e Metodi

Il Sistema di Allerta Brusone calcola un indice di rischio giornaliero di infezione da parte del brusone calcolato per il giorno attuale e previsto per i 3 giorni successivi. Per arrivare a una valutazione del rischio che riguardasse l'intera area coltivata a riso, è stato in primo luogo necessario applicare procedure di interpolazione in modo da potere visualizzare i risultati sull'intera area in esame. A questo scopo, è stato applicato in ambiente ArcGIS uno degli algoritmi più comuni per l'interpolazione di dati puntuali, la media pesata con l'inverso della distanza IDW (Inverse Distance Weighting): con questo algoritmo l'indice del rischio calcolato in ogni stazione meteorologica (classi da 1 a 3) è stato interpolato sui diversi distretti irrigui. Ne consegue pertanto un'indicazione di opportunità di trattamento in funzione della previsione di rischio differenziata per territori omogenei (distretti), che viene trasmessa agli agricoltori per la decisione finale sull'intervento da attuare.

Parallelamente si sono effettuate delle verifiche in campo con l'uso di App di rilevamento speditive (Tecnologia ESRI -App QuickCapture) per validare l'efficacia del Modello previsionale.

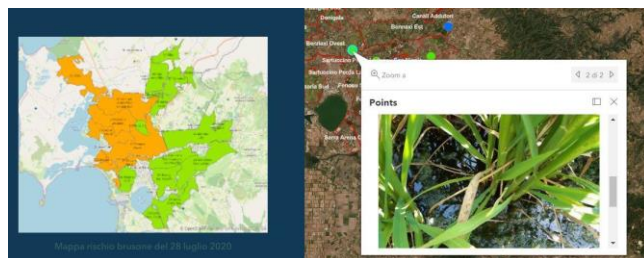


Fig.1 – Validazione Modello con Rilievo Brusone su Riso.

Fig.1 - Model validation with Brusone Relief on Rice

Un'altra applicazione dei sistemi informativi geografici che il Servizio Sostenibilità e Sviluppo delle attività agricole ha sviluppato in questi ultimi anni per la conoscenza e gestione di alcune problematiche dell'ambiente agricolo è la APP IRRORACONTROL per il controllo della funzionalità delle macchine irroratrici.

La tecnologia usata è sempre della ESRI (App Survey 123) per la compilazione delle informazioni descrittive della macchina (Coltura trattata, superficie/volume del bersaglio, volume irrorato, velocità di avanzamento, tipologia di ugelli, etc.) e per la georeferenziazione del centro aziendale nel quale si effettua il trattamento. Le informazioni confluiscono in una Mappa denominata Mappa della Consapevolezza dell'uso corretto delle macchine irroratrici. L'informazione spazializzata sia a scala comunale che aziendale, rappresenterà un supporto conoscitivo per indirizzare le attività di monitoraggio dove più necessita.



Fig.2 – Mappa della Consapevolezza dell'uso delle macchine irroratrici su colture cerealicole.

Fig.2 – Awareness Map of the use of spraying machines on cereal crops

Infine si presentano i risultati dell'attività di perimetrazione e monitoraggio dei danni da gelata verificatisi nella prima decade di Aprile 2021. Grazie alla collaborazione con l'agenzia Arpas attraverso la condivisione del portale Esri online per l'analisi climatica e avvantaggiati dall'applicazione della APP Survey 123, dopo neanche una settimana dall'evento sono iniziati i sopralluoghi per la perimetrazione e l'accertamento tecnico del danno alla coltura. Nell'arco di 45 giorni dal 16 aprile al 24 maggio dell'anno scorso sono stati eseguiti N°1022 rilievi in campo su un totale di 159 comuni, con una squadra di 44 tecnici, in numero rapportato all'estensione del territorio interessato dalla gelata e dalla gravità della stessa.

Risultati e Discussione

Il Modello previsionale del Brusone è risultato realisticamente idoneo alla realtà territoriale studiata. E' evidente che sarà necessario continuare a testarlo e validarlo in campo nei prossimi anni; anche in considerazione di fenomeni meteorologici non facilmente prevedibili in una scala temporale ampia a causa anche dei cambiamenti climatici che portano masse d'aria umida e calda dai settori meridionali.

Per quanto riguarda la spazializzazione dei controlli sulle macchine irroratrici siamo in fase di test a seguito del quale

l'uso della tecnologia possa essere opportunamente divulgata ai Centri Prova Regionali.

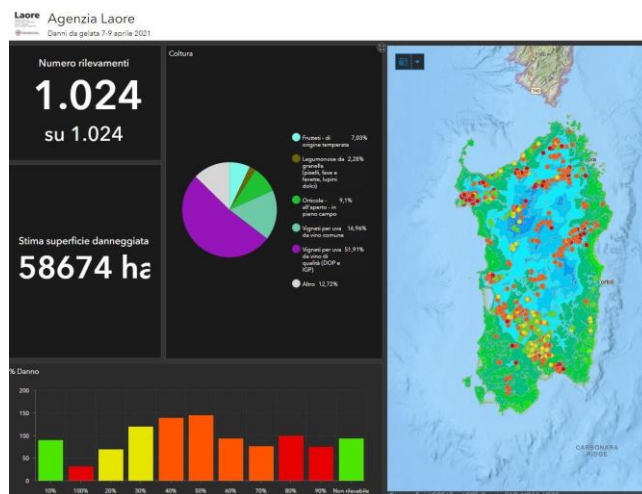


Fig.3 – Dashboards ESRI del monitoraggio dei danni da gelata sulle colture.

Fig. 3 - Crop damage monitoring dashboards ESRI

L'uso delle tecnologie dei sistemi informativi geografici, condivisi con l'Agenzia Arpas, ha consentito di rendere molto rapido l'inizio operativo del monitoraggio dei danni. I rilievi sono stati concentrati maggiormente laddove il fenomeno dell'abbassamento delle temperature sotto lo zero è stato rilevato dalle stazioni agrometeorologiche, quindi dove si potevano ipotizzare sicuri danni alle colture, ottimizzando l'ubicazione dei rilievi di accertamento danni alle colture in funzione delle aree maggiormente colpite dalle temperature più estreme (da 0 a -4 °C).

L'applicazione ha garantito il lavoro in campo di un gruppo folto di tecnici, non necessariamente esperti dei sistemi informativi, attraverso l'uso del semplice dispositivo dello smartphone.

Conclusioni

Si evidenzia l'importanza che i Sistemi informativi applicati stanno assumendo nel supportare l'agenzia Laore nella realizzazione di attività di monitoraggio ambientale, di previsioni fitosanitarie, di pianificazione di attività a servizio del territorio agricolo per la sua gestione, con occhio di riguardo alla sostenibilità ambientale.

Bibliografia

Basso Bruno, Sartori Luigi, 2013. Agricoltura sostenibile, a cura di Pisante Michele. Edagricole, pp 274-278
 Battilani Paola, Cravedi Piero, 2013. Agricoltura sostenibile, a cura di Pisante Michele. Edagricole, pp 249-253

PREVISIONI MENSILI DI IRRIGAZIONE IN EMILIA-ROMAGNA

MONTHLY IRRIGATION FORECASTS IN EMILIA-ROMAGNA

Fausto Tomei^{1*}, Giulia Villani¹, Alessandro Pirola¹, Valentina Pavan¹

¹ Arpae Emilia-Romagna - Struttura IdroMeteoClima, Viale Silvani 6, Bologna

* ftomei@arpae.it

Abstract

Starting from 2011 ARPAE has developed an operational climate service, dedicated to reclamation consortia, for the seasonal forecast of summer crop irrigation needs in Emilia-Romagna. The forecast starts from the early maps of the crops produced every year through the analysis of remote sensing data (iCOLT service). Subsequently short and medium-term irrigation forecasts have been added to the service, with different purposes depending on the time horizon in the management of the water resource. Within the Highlander project a new modeling chain has been included in the climate service for the production of monthly irrigation forecasts starting from the ECMWF sub-seasonal ensemble forecasts. These forecasts, analyzed in this paper, are being tested on three reclamation consortia in the Emilia-Romagna Region (Burana, Renana and Romagna).

Parole chiave

Richiesta irrigua delle colture, previsioni stagionali e sub-stagionali

Keywords

Crop water requirements, seasonal and sub-seasonal forecasts

Introduzione

La gestione delle risorse idriche è fondamentale nei territori a forte vocazione agricola, come la regione Emilia-Romagna, il cui clima è caratterizzato da frequenti condizioni di siccità nel periodo estivo e da valori negativi del bilancio idro climatico primaverile ed estivo nelle aree di pianura, che sono quelle maggiormente interessate alla produzione agricola.

Arpae ha sviluppato a partire dal 2011 un servizio climatico operativo per la previsione stagionale dei fabbisogni irrigui colturali estivi (Villani et al, 2021). Il servizio è mirato a dare supporto tecnico ai Consorzi di Bonifica e alla Regione Emilia-Romagna al fine di ottimizzare l'uso della risorsa irrigua.

Tale servizio viene prodotto a partire dalle mappe precoci delle colture in atto, realizzate ogni anno mediante analisi di dati telerilevati Copernicus (servizio iCOLT), dai dati meteorologici osservati nei mesi precedenti la previsione aggregati nella griglia di analisi meteo ERG5 (Antolini et al, 2015) e dai dati meteorologici previsti per la stagione estiva, prodotti da un weather generator che viene alimentato da indici climatici, ottenuti calibrando le previsioni stagionali di multi-model ensemble Copernicus.

Questo servizio è stato recentemente affiancato da ulteriori tipologie di previsione irrigua a breve e a medio termine, calcolate per tre consorzi di bonifica della regione Emilia-Romagna (Burana, Renana e Romagna) e disponibili al portale del servizio climatico per l'irrigazione <https://servizigis.arpae.it/moses>

In particolare, all'interno del progetto Highlander, è stata inserita nel servizio climatico una nuova catena modellistica per la produzione di previsioni irrigue probabilistiche mensili

(+4 settimane) a partire dalle previsioni probabilistiche sub-stagionali ECMWF. In questo lavoro viene descritta la metodologia operativa e i risultati preliminari ottenuti nel corso della sperimentazione di tali previsioni sui tre Consorzi di Bonifica.

Materiali e Metodi

La catena operativa per la produzione delle previsioni irrigue mensili parte dalla mappa precoce delle colture in atto, prodotta ogni anno intorno a fine aprile. Nel corso dell'inverno le immagini satellitari vengono analizzate per produrre una classificazione preliminare delle colture, che viene poi validata nel corso della primavera con rilievi in campo e integrata con l'informazione dei frutteti, più stabile nel tempo, da catasto AGREA.

La classificazione delle colture in atto e la mappa pedologica della regione sono utilizzate per inizializzare il modello agro-idrologico CRITERIA-1D (Marletto et al, 2007) sviluppato da Arpae e disponibile open-source sul repository: <https://github.com/ARPA-SIMC/CRITERIA1D>

Il modello viene alimentato con i dati giornalieri osservati di temperatura e precipitazione (griglia di analisi ERG5) dal primo gennaio dell'anno precedente sino al giorno della previsione e da lì in avanti con un ensemble previsionale a +4 settimane, composto i primi 14 giorni dalle previsioni a medio termine ECMWF e i successivi 14 dalle previsioni probabilistiche sub-seasonal ECMWF, calibrate utilizzando il metodo EcPoint all'interno del progetto Highlander.

L'ensemble previsionale è composto da 50 membri, quindi il modello produce un equivalente numero di output per ogni unità di calcolo. Su questi viene svolta una analisi statistica per estrarre le mappe di previsione irrigua probabilistica, in particolare per ogni Consorzio vengono fornite mappe del 5°, 25°, 50°, 75° e 95° percentile delle precipitazioni e delle irrigazioni cumulate previste per le successive 4 settimane. Il servizio viene aggiornato una volta a settimana, con fornitura dell'output su server FTP il martedì sera. Le mappe vengono successivamente scaricate dal Cineca per essere importate sul portale dati del progetto Highlander: <https://dds.highlander.cineca.it/>

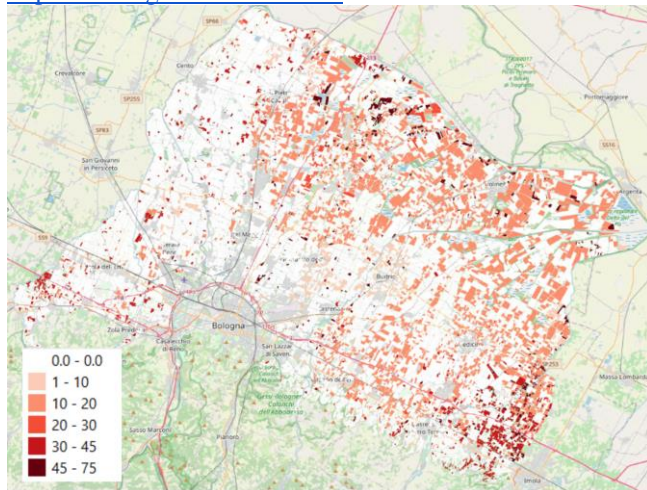


Fig. 1 – 50° percentile della previsione irrigua mensile per il Consorzio della Renana (2021-06-01).

Fig. 1 – 50° percentile of monthly irrigation forecast for Renana Consortium (2021-06-01).

Risultati e Discussione

Il servizio di previsione irrigua mensile è operativo da giugno 2021 e avendo quasi un anno di dati disponibili è possibile valutare lo skill delle previsioni utilizzando dataset di dati osservati.

Non avendo ancora a disposizione dati di irrigazione reali dai Consorzi di Bonifica interessati, siamo partiti dalla valutazione della affidabilità delle previsioni di precipitazione cumulata a +4 settimane. L'area scelta per la verifica è il distretto irriguo di Ravarino nel Consorzio di Bonifica della Burana (Fig.1), scelto perché i suoi volumi idrici in ingresso sono monitorati e dovrebbero essere presto disponibili.

La Fig.2 mostra il confronto tra la distribuzione della previsione di precipitazione cumulata a +4 settimane sul distretto di Ravarino (boxplot) con il corrispondente dato osservato della griglia di analisi ERG5 (linea rossa) e con la media climatica 1991-2020 (linea verde), calcolata sulla stessa griglia ERG5. La previsione è aggiornata ogni settimana e il periodo di analisi va da giugno a novembre 2021.

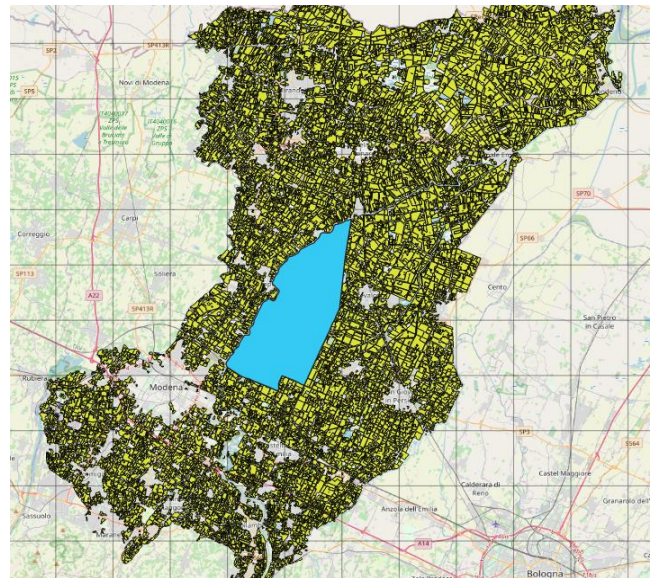


Fig. 2 – area di validazione delle previsioni mensili per il Consorzio della Burana: distretto irriguo di Ravarino.

Fig. 2 – validation area of the monthly forecasts in the Burana Consortia: Ravarino irrigation district.

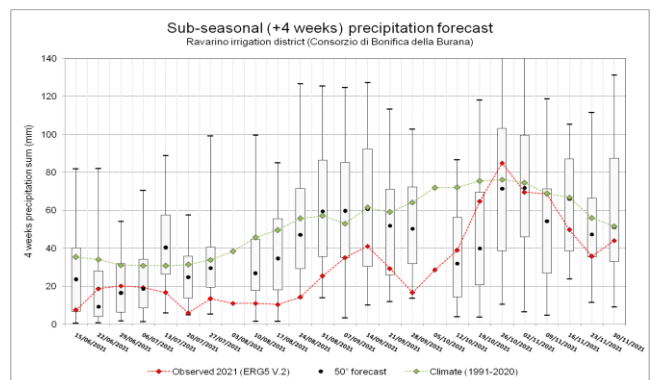


Fig. 3 – validazione delle previsioni mensili sul distretto irriguo di Ravarino: precipitazione prevista (boxplot), precipitazione osservata (linea rossa) e clima (linea verde), periodo: estate-autunno 2021.

Fig. 3 – monthly forecasts validation for the Ravarino irrigation district: forecasted precipitation (boxplot) observed precipitation (red line) and climate (green line), period: summer-autumn 2021.

Il 2021 è stato un anno fortemente siccitoso in Emilia-Romagna, infatti, il dato osservato è costantemente inferiore alla media climatica, tranne in un solo caso a fine ottobre. Nella maggioranza dei casi il 50° percentile della previsione è più vicino al dato osservato rispetto alla media climatica e di conseguenza l'errore quadratico medio del 50° percentile della previsione è inferiore rispetto all'errore che si avrebbe utilizzando il clima (Tab.1). Anche l'indice di efficienza della previsione, calcolato utilizzando la formula di Nash-Sutcliffe (NSE), indica che lo skill della previsione è positivo.

Valori molto simili sono stati verificati sul distretto irriguo di Prada, nel Consorzio della Romagna, che non viene qui riportato per brevità. In generale la valutazione sul 2021 mostra che le previsioni di precipitazione a +4 settimane hanno evidenziato una performance migliore del dato climatico, l'obiettivo è ora verificare se questo verrà confermato nella stagione 2022 e quale sia lo skill della conseguente previsione irrigua, utilizzando dati di irrigazione reale.

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.

Villani, G., Tomei, F., Pavan, V., Pirola, A., Spisni, A., Marletto, V. (2021). The iCOLT climate service: Seasonal predictions of irrigation for Emilia-Romagna, Italy. *Meteorological Applications*, 28(4), e2007

Tab.1 – validazione delle previsioni mensili sul distretto irriguo di Ravarino.

Tab.1 – monthly forecasts validation for the Ravarino irrigation district.

RMSE (clima)	25.7	mm
RMSE (50° previsione)	19.5	mm
NSE	0.25	

Conclusioni

Dalla validazione condotta sulla previsione di precipitazione +4 settimane ECMWF con i dati osservati emerge che la performance delle previsioni è superiore al valore climatico. Ne consegue che l'inserimento di questo prodotto meteo innovativo all'interno del servizio climatico è promettente poiché porta un elemento informativo intermedio compreso tra la visione a lungo termine delle previsioni stagionali e quella a breve termine delle previsioni a +7 giorni. Inoltre, la previsione di precipitazione tal quale è preziosa per i gestori della risorsa idrica soprattutto durante i mesi autunnali e invernali poiché può indicare con notevole anticipo eventi estremi che devono essere gestiti mediante lo svuotamento della rete di canali consortili per allontanare le eventuali precipitazioni intense.

Le prossime fasi di lavoro si concentreranno sulla validazione delle previsioni di irrigazioni a +4 settimane che verranno confrontate con dati osservati su alcuni distretti irrigui, i cui volumi idrici in ingresso sono monitorati, per testare anche la skill di questo nuovo prodotto all'interno del servizio climatico.

Ringraziamenti

Questo contributo viene presentato nell'ambito del Progetto HIGHLANDER (GA No.INEA/CEF/ICT/A2018/1815462). Il progetto è finanziato attraverso il programma Connecting European Facility (CEF) dell'Unione Europea.

Bibliografia

Antolini, G., L. Auteri, L., Pavan, V., Tomei, F., Tomozeiu, R., Marletto, V. (2015). A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961-2010. *International Journal of Climatology* 08/2015.

STIMA DEL BIAS DI DATASET ERA5-LAND E E-OBS DAL 1981 AL 2021 PER UNA MIGLIORE ASSISTENZA TECNICA ALL'IRRIGAZIONE NELLE AREE VITIVINICOLE DELL'ABRUZZO

BIAS ESTIMATION OF ERA5-LAND AND E-OBS DATASETS FROM 1981 TO 2021 FOR AN IMPROVED TECHNICAL SUPPORT IN VINEYARD IRRIGATION IN ABRUZZO REGION (CENTRAL ITALY)

Bruno Di Lena^{1*}, Lorenzo Vergni², Barbara Parisse³, Roberta Alilla³, Flora De Natale³, Gabriele Curci^{4,5}

¹ Abruzzo Region, Agriculture Directorate-Regional Agro-Meteorological Centre, 66020 Scerni, Italy

² Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, University of Perugia, 06124 Perugia, Italy

³ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria -Centro Agricoltura e Ambiente

⁴ Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche, Università degli Studi dell'Aquila, 67100 L'Aquila, Italy

⁵ Center of Excellence in Telesensing of Environment and Model Prediction of Severe Events (CETEMPS), Università degli Studi dell'Aquila, 67100 L'Aquila, Italy

* bruno.dilena@regione.abruzzo.it

Abstract

The study focuses on the comparison of thermo-pluviometric series (complete, validated and homogenized from 1981 to 2021) measured by 11 weather stations in the vineyard areas of the Abruzzo Region (Central Italy) with the corresponding series derived from two gridded datasets: ERA5-Land and E-OBS, both available at the same spatial resolution of 0.1° Lat/Long, with the aim to assess linear correlation and bias, at different time scales (daily, 10-daily, monthly). The estimation of correction factors will allow to improve the accuracy of gridded datasets and, consequently, of the main water balance components (rainfall and reference evapotranspiration), even in areas not covered by meteorological stations.

Parole chiave

Dati meteorologici distribuiti, bias di temperatura, bias di precipitazione, ERA5-Land, E-OBS

Keywords

Meteorological gridded datasets, temperature biases, precipitation biases, ERA5-Land, E-OBS

Introduction

Meteorological data is a key element in agricultural practices, guiding many operational choices, especially irrigation. In this context, weather stations provide the most reliable data, but they cover only a limited part of the land area. Therefore, the availability of gridded datasets plays an important role in analyzing areas not monitored by stations. At local scale, two products are widely used: E-OBS and ERA5-Land (E5L). The latter is a reanalysis dataset, whose importance as a contemporary and effective information source has been stressed by many authors (Isotta et al. 2015, Betts et al. 2019, Velikou et al. 2022). Although gridded datasets are generally affected by biases, their use could be improved through bias correction methods based on the study of correlations between them and station data (Pelosi et al., 2020).

The study aims at: i) comparing the accuracy of the two gridded datasets considered (E-OBS, ERA5-Land); ii) detecting the best way to correct the daily gridded datasets needed to assess a water balance.

Materials and Methods

Data

We utilized daily minimum (T_n) and maximum (T_x) temperature and precipitation (P) data, covering the 1981-2021 period, provided by three sources: weather stations, E-OBS and E5L.

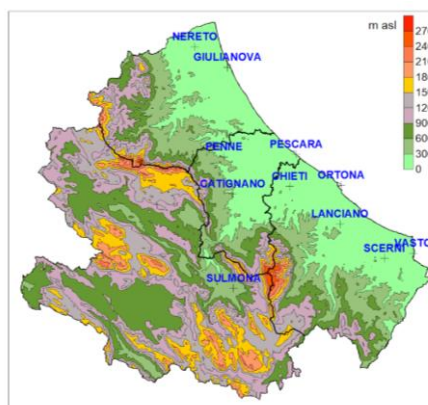


Fig. 1– Map showing orography of Abruzzo region and the stations considered

Fig. 1– L'orografia dell'Abruzzo e le stazioni considerate

Data of 11 meteorological stations (Fig. 1) were derived from the high-quality time-series of the Regional Hydrographic Service of Abruzzo (Central Italy), homogenized and validated by Curci et al (2021) following international standards (Peterson et al., 1998; WMO, 2008) also adopted by ISPRA for Italy (Fioravanti et al., 2016).

All stations are inside vineyard areas and, as shown in figure 1, most of them are located at low elevation (below 300 m a.s.l) and quite close to the coastline.

E-OBS and E5L are both public databases available at the European Copernicus Climate Change Service website, which provide meteorological time series from 1950 to present.

E-OBS (doi.org/10.24381/cds.151d3ec6) consists of a gridded daily dataset of several atmospheric variables interpolated onto a $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ regular grid derived from time series collected from European national weather services, subjected to extensive quality checks and blending procedures (Van den Besselaar, 2022). E-OBS builds on the ECA&D station network, whose diverse coverage over Europe makes such a dataset more reliable in some regions than in others (Cornes et al., 2018).

E5L (doi.org/10.24381/cds.e2161bac) is a global model of atmospheric reanalysis derived from the land component of ERA5, implemented by ECMWF. Compared to ERA5, E5L exhibits similar spatial, temporal and numerical patterns (Xu et al. 2022). Reanalysis combines past short-range weather forecasts with observations through data assimilation (ECMWF, 2020). The dataset is available at the same 0.1° resolution, with an hourly time step. Daily extreme temperature values were obtained as minimum and maximum of the 24 values starting from 00 UTC, while daily precipitation corresponds to the accumulated value estimated at 00 UTC.

For each station, daily time series (from 1981 to 2021) of temperature and precipitation were extracted from both gridded datasets on co-located grid boxes.

Methods

A first **similarity assessment** between observed and gridded data was performed by quantifying the Pearson correlation coefficient of the corresponding daily series, for each month and station. In addition, the mean bias of each station and month was calculated as the mean difference between daily gridded and respective data from stations.

The **bias correction** of gridded thermo-pluviometric data was estimated considering three temporal aggregations: daily, 10-daily and monthly. The latter two were computed by averaging or accumulating daily temperature and precipitation data, respectively.

Several correction models were assessed for each gridded dataset and temporal aggregation, all expressed by the following equation:

$$Y_{gadj,i} = b_1(k) \cdot Y_{g_i} + b_0(k) \quad (1)$$

$$Y_{gadj,i} = b_1(k) \cdot Y_{g_i} + b_0(k) \quad (1)$$

where $Y_{gadj,i}$, $Y_{gadj,i}$ and Y_{g_i} are respectively unbiased and biased grid data, $b_1(k)$ and $b_0(k)$ are the slope and the intercept of a linear regression model having as dependent variable the observed daily data at the station “i” and for the data group “k” ($Y_{obs,i}(k)$), while the independent variable is the corresponding grid value ($Y_{g_i}(k)$).

The correction models vary according to the data grouping used for estimating the $b_1(k)$ and $b_0(k)$ coefficients (i.e., homogeneity by station and month, or by station and season, or only by station).

As for precipitation, the model was estimated forcing the regression line to pass through the origin (i.e., $b_0(k) = 0$), to avoid negative corrected Y_{gadj} values.

The performance of the gridded data bias correction was evaluated through the Root Mean Square Error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N(k)} (Y_{oss,i} - Y_{gadj,i})^2}{N(k)}} \quad (2)$$

where $N(k)$ is the size of the generic k group.

Results and discussion

As regards the **similarity assessment**, the mean values of Pearson correlation coefficients (computed by averaging the 12 monthly ones) for each dataset and station and for the three variables are reported in figure 2.

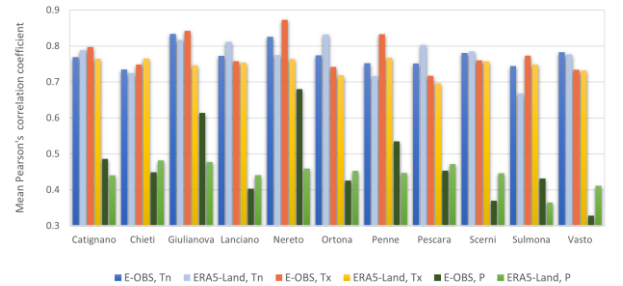


Fig. 2 – Mean correlation coefficients (averaged on the 12 months) between the station daily values of minimum (Tn) and maximum (Tx) temperature and precipitation (P) and the corresponding gridded data (E5L and E-OBS).

Fig. 2 – Coefficienti di correlazione medi (mediati sui 12 mesi) tra i valori giornalieri osservati di temperatura minima (Tn), massima (Tx) e precipitazione (P) e i corrispondenti valori di griglia (E5L e E-OBS) nelle stazioni considerate.

The mean correlations of temperatures are within the range $0.67 \div 0.87$ and vary slightly among stations. E5L and E-OBS show similar correlations with the station data, even though, for maximum temperatures, E-OBS correlations are better than E5L ones. Correlations at monthly level (not reported) did not highlight any relevant systematic differences among months. It should be noted that Velikou et al. (2022) found very high correlations between ERA5 and E-OBS for annual temperatures at European scale. The same authors

highlighted good correlations between ERA5 and station temperature data and reported different performances of ERA5 for the summer months over the European domain. For precipitation, on the other hand, correlation values are much lower than those observed for temperatures and much more variable both from station to station and for individual months (not shown). The variation range of mean correlations is wider for E-OBS (0.33÷0.68) than for E5L (0.37÷0.48). The E5L correlations are very low for August precipitation, with values below 0.29 in all stations. In an analysis of ERA5 precipitation in Siberia at a monthly scale, Voropay et al. (2021) find much higher correlation coefficients, with the worst results in summer consistently with our outcomes. In addition, these findings confirm that the daily scale is not appropriate for comparison between stations and this kind of gridded datasets (Betts et al. 2019). The figure 3 reports the mean biases for each variable, product, and station. The bias variability among months (not shown) is negligible with respect to variability among stations and products, in contrast to the findings of Betts et al. (2019) for less detailed reanalysis models as ERA-INTERIM and ERA5.

Biases of minimum temperatures are mainly negative for both gridded datasets (more relevant for E5L), except for Giulianova, where bias is slightly positive for both products, and Sulmona where the positive bias concerns only E-OBS. While both gridded datasets generally underestimate minimum temperatures, the product biases are opposite for maximum temperatures, which are generally overestimated by E-OBS and underestimated by E5L. The most relevant exception is Sulmona station, with high negative biases for both products (with a peak of -6.6 °C for E5L). This tendency of ERA5 to underestimate temperatures is confirmed by several authors (Velikou et al. 2022, Cucchi et al. 2020). In contrast, Pelosi et al. (2020) found a systematic overestimation of temperatures by E5L, with a mean bias for the Campania region of +0.66 °C. In all seasons, in the Mediterranean area and in the Iberian Peninsula, ERA5 show lower temperatures than E-OBS (Betts et al. 2019). In a study in Greece, E-OBS showed good performances for temperatures with local biases of more than 1°C (Voulanas & Mavromatis 2021).

As regards precipitation, the figure 3 shows a very little bias, ranging from -0.63 to 0.82 mm/day, which is mainly positive for E5L and negative for E-OBS.

It should be noted that mean bias values close to zero simply indicate that the error distribution is unbiased, but don't give information on its variability, and therefore on reliability of daily estimates. Despite the precipitation bias is almost null, its variability is remarkable (mean standard deviation ~ 6 mm/day for both products).

As E5L in our analysis, ERA5 showed a tendency to overestimate daily precipitation in Reder et al. (2022), where a bias decrease at the monthly scale was observed. At the latter time scale, a mean absolute error ranging from -23 to 90 mm was found for ERA5 in Siberia (Voropay et al., 2021). As for E-OBS, our results are consistent with Pavan

et al. (2018) and Caroletti et al. (2019) who observed a tendency to underestimate precipitation amounts in Northern-Central and Southern Italy, respectively. According to Bandhauer et al. (2022), while ERA5 generally overestimates precipitation, E-OBS behaves in a different way depending on areas and station density. An analysis carried out in a North American Basin, Xu et al. (2019) found seasonal differences in performances of ERA5 precipitation data, which resulted better in spring and autumn than in summer and winter.

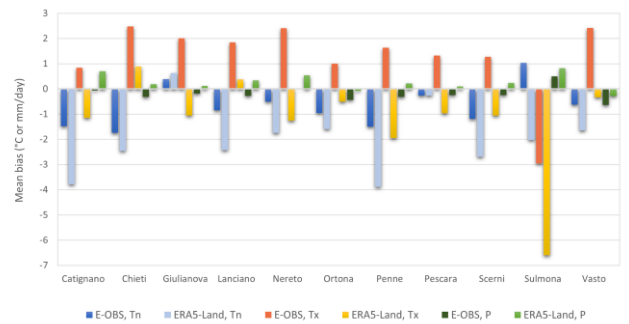


Fig. 3 – Mean biases (averaged on the 12 months) of daily minimum (Tn) and maximum (Tx) temperatures and precipitation (P) for E5L and E-OBS in the stations considered.

Fig. 3 – Bias medio (mediato sui 12 mesi) delle temperature massime (Tx) e minime (Tn) e delle precipitazioni (P) giornaliere per E5L e E-OBS nelle stazioni considerate.

Figure 4 shows for both corrected and not corrected daily data the mean RMSE for each station and variable. The correction models have different levels of detail: the most detailed model is “for station and month”, followed by the one “for station and season” and finally only “for station”. For each station, the number of correction parameters for these models is 12, 4 and 1, respectively. The mean RMSEs of corrected minimum temperature (range: 1.5÷2.0 °C) are generally lower than maximum temperature ones (range 2.0÷2.5 °C), as shown in figure 4 (a-b). For the E-OBS data, several stations characterized by similar RMSEs for Tn and Tx are observed. The highest RMSEs, although aligned with the others, are observed in the Sulmona station, characterized by a high bias (fig. 3). There is a relevant reduction in RMSE going from not corrected to corrected grid data in most stations. As for precipitation (fig. 4c-d), the mean RMSE of corrected data is close to 5.5 mm/day for both products. This error is not negligible for the water balance since its value is comparable to peak evapotranspiration in this climate. Moreover, unlike temperatures, the advantage of correction is less evident, particularly for E-OBS data. A similar analysis, but based on data aggregated over **10 days**, is shown in figure 5. The most remarkable result is a relevant decrease in the RMSE of corrected data, especially precipitation. Concerning temperatures, the RMSE of corrected E5L data is, on average, lower by about 0.25 °C

than the corresponding E-OBS ones. As for precipitation, E5L corrected data perform slightly better than E-OBS ones, with RMSE values generally lower by about 0.27 mm/day. The dissimilarities among models at different detail levels are less evident than in daily data analysis, as well as the differences between corrected and not corrected data. This denotes a certain self-correction property of precipitation at this level of aggregation.

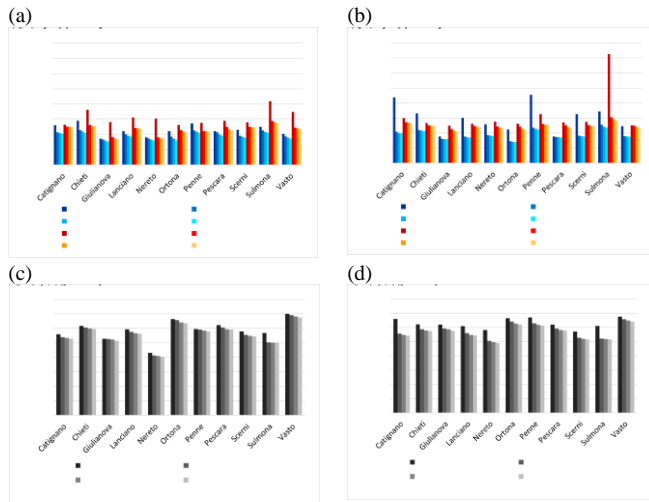


Fig. 4 – Mean RMSE values for E-OBS and ERA5-Land daily temperatures (a,b) and precipitation (c,d) not corrected and corrected on the basis of linear regression models at a different detail level

Fig. 4 – RMSE medi per i dati giornalieri termometrici (a,b) e pluviometrici (c,d) di E-OBS e ERA5-Land non corretti e corretti in base a modelli di regressione a differente dettaglio

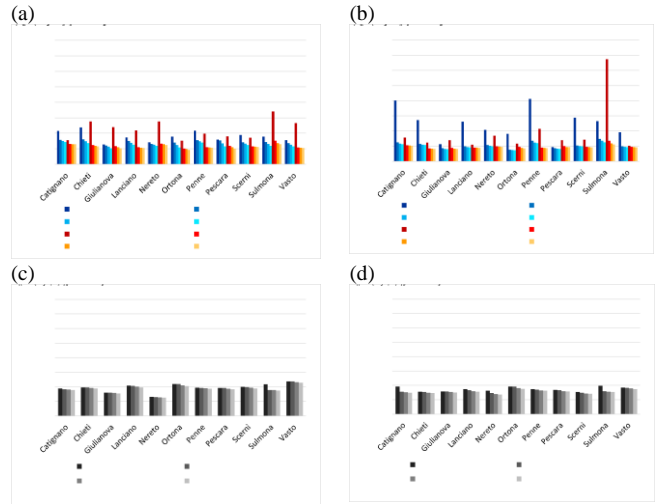


Fig. 5 – Mean RMSE values for E-OBS and ERA5-Land 10-daily temperatures (a,b) and precipitation (c,d) not corrected and corrected on the basis of linear regression models at a different detail level

Fig. 5– RMSE medi per i dati decadal termometrici (a,b) e pluviometrici (c,d) di E-OBS (a) e ERA5-Land (b) non corretti e corretti in base a modelli di regressione a differente dettaglio.

At a **monthly** scale, the results of thermo-pluviometric RMSE are shown in figure 6. As expected, there is a further decrease of RMSE values with respect to 10-daily aggregation, but the variations are much less noticeable than those detected moving from daily to 10-daily analysis. Since differences among models with diverse numbers of parameters are generally very limited for all the timescales considered, mainly for E5L data, the simplest correction model (only for station) was chosen.

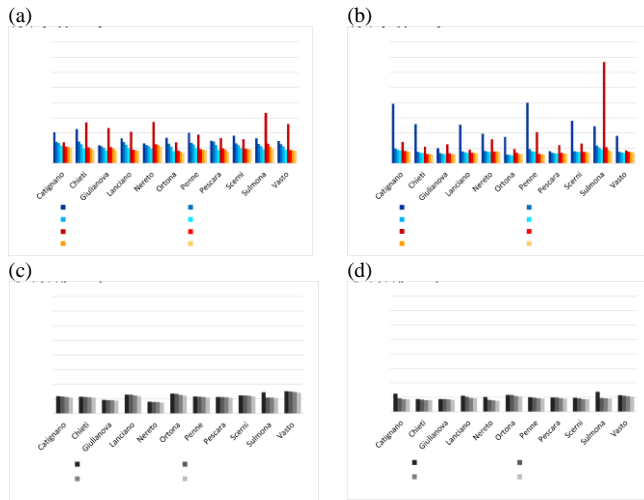


Fig. 6 – Mean RMSE values for E-OBS and ERA5-Land monthly temperatures (a,b) and precipitation (c,d) not corrected and corrected on the basis of linear regression models at a different detail level.

Fig. 6 – RMSE medi per i dati termometrici (a,b) e pluviometrici (c,d) mensili di E-OBS e ERA5-Land non corretti e corretti in base a modelli di regressione a differente dettaglio

In this way, the correction process is simplified, without affecting the reliability of the final results. In addition, the analysis shows that the 10-daily aggregation allows for a further improvement in the goodness of the gridded data. Therefore, in table 1 the correlation coefficients related to the 10-daily time scale are reported.

Tab.1 – Correlation coefficients for bias-correction at the 10-daily time scale

Tab.1 – Coefficienti di correlazione per la correzione del bias a scala decennale

Station name	E-OBS					ERA5-Land				
	Tn		Tx		P	Tn		Tx		P
	b ₁	b ₀	b ₁	b ₀	b ₁	b ₁	b ₀	b ₁	b ₀	b ₁
Catignano	0.99	1.55	1.01	-1.03	0.86	0.92	4.34	1.00	1.21	0.71
Chieti	0.98	1.98	0.98	-2.14	1.00	0.97	2.77	1.01	-1.14	0.92
Giulianova	1.00	-0.35	0.92	-0.32	1.05	0.94	-0.02	1.02	0.70	0.97
Lanciano	0.96	1.28	0.94	-0.67	0.92	0.97	2.72	0.93	0.87	0.84
Nereto	1.02	0.34	0.97	-1.77	0.92	0.94	2.26	1.08	-0.13	0.78
Ortona	0.91	1.94	0.93	0.44	1.05	0.93	2.33	0.94	1.71	0.99
Penne	1.03	1.18	0.98	-1.17	1.02	0.97	4.12	1.02	1.57	0.91
Pescara	0.95	0.79	0.95	-0.38	0.99	0.95	0.77	1.02	0.59	0.94
Scerni	0.94	1.89	0.99	-1.06	0.87	0.96	3.11	1.03	0.46	0.87
Sulmona	0.97	-0.79	1.11	1.12	0.66	0.87	2.68	1.07	5.69	0.68
Vasto	0.93	1.44	0.95	-1.40	1.04	0.96	2.03	1.02	0.01	1.07

Conclusions

The bias analysis highlighted that both gridded datasets show non-negligible biases for all the variables considered within the study area.

The comparison with regression models at a different detail level, “for station and month”, “for station and season” and only “for station” suggests applying the simplest model for bias correcting E5L and E-OBS thermo-pluviometric data, with coefficients specific for station, without considering the intra-annual variability.

In addition, the 10-daily time scale has shown to be the best compromise to obtain, on the one hand, an acceptable error and, on the other hand, a time detail suitable for a real-time monitoring of water stress.

This preliminary analysis is a first step for correcting the bias of the gridded datasets not only at individual station points but over the entire study area, to better estimate the agrometeorological indices (such as precipitation and evapotranspiration) even in areas not covered by weather stations.

References

- Bandhauer M, Isotta F, Lakatos M, Lussana C, Båserud L, Izsák B, Szentes O, Tveito OE, Frei C, 2022. Evaluation of daily precipitation analyses in E-OBS (v19.0e) and ERA5 by comparison to regional high-resolution datasets in European regions. Intern. Journ. of Climatology, 42(2):727-747. <https://doi.org/10.1002/joc.7269>
- Betts AK, Chan DZ and Desjardins RL., 2019. Near-Surface Biases in ERA5 Over the Canadian Prairies. Frontiers in Environmental Science, 7:129. <https://doi:10.3389/fenvs.2019.00129>
- Caroletti GN, Coscarelli R, Caloiero T, 2019. Validation of Satellite, Reanalysis and RCM Data of Monthly Rainfall in Calabria (Southern Italy). Remote Sensing.; 11(13):1625. <https://doi.org/10.3390/rs11131625>
- Cornes R.C., van der Schrier G., van den Besselaar E.J.M., Jones P.D. 2018. An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. J. Geophys. Res. Atmos., 123, 9391–9409.
- Cucchi, M., Weedon, G. P., Amici, A., Bellouin, N., Lange, S., Müller Schmied, H., Hersbach, H., and Buontempo, C., 2020. WFDE5: bias-adjusted ERA5 reanalysis data for impact studies, Earth Syst. Sci. Data, 12, 2097–2120, <https://doi.org/10.5194/essd-12-2097-2020>
- Curci G, Guijarro JA, Di Antonio L, Di Bacco M, Di Lena B, Scorzini AR, 2021. Building a local climate reference dataset: application to the Abruzzo region (Central Italy), 1930–2019. Int J Climatol 41(8):4414–4436. <https://doi.org/10.1002/joc.7081>
- ECMWF, 2020. ECMWF-fact-sheet-reanalysis: 2 pp. <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/medialibrary/2020-06/ecmwf-fact-sheet-reanalysis.pdf>
- Fioravanti G., Frascchetti P., Perconti W., Piervitali E., Desiato F. 2016. Controlli di qualità delle serie di temperatura e di precipitazione. ISPRA, Stato dell’Ambiente 66/2016. ISBN 978-88-448-0780-1

- Pavan, V., Antolini, G., Barbiero, R. et al., 2019. High resolution climate precipitation analysis for north-central Italy, 1961–2015. *Clim Dyn* 52, 3435–3453. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4337-6>
- Pelosi A, Terribile F, D’Urso G, Chirico GB., 2020. Comparison of ERA5-Land and UERRA MESCAN-SURFEX Reanalysis Data with Spatially Interpolated Weather Observations for the Regional Assessment of Reference Evapotranspiration. *Water*. 12(6):1669. <https://doi.org/10.3390/w12061669>.
- Peterson TC, Vose R, Schmoyer R, Razuvaev V, 1998 Global historical climatology network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*, 18: 1169–1179.
- Reder A, Raffa M, Padulano R, Rianna G, Mercogliano P, 2022. Characterizing extreme values of precipitation at very high resolution: An experiment over twenty European cities, *Weather and Climate Extremes*, Volume 35:100407, ISSN 2212-0947, <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100407>
- Van den Besselaar E, 2022. E-OBS daily gridded observations for Europe from 1950 to present: Product user guide - Copernicus Knowledge Base - ECMWF Confluence Wiki. (last accessed on April 28, 2022) <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/E-OBS+daily+gridded+observations+for+Europe+from+1950+to+present%3A+Product+user+guide>
- Velikou K., Lazoglou G., Tolika K., Anagnostopoulou C., 2022. Reliability of the ERA5 in Replicating Mean and Extreme Temperatures across Europe. *Water*, 14: 543. <https://doi.org/10.3390/w14040543>
- Voropay NN, Ryazanova AA, Dyukarev EA, 2021. High-resolution bias corrected precipitation data over the South Siberia, Russia, *Atmos. Res.* 254:105528. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105528>
- Voulanas D., Mavromatis T., 2021. Evaluation of five reanalysis products in reproducing the spatio-temporal characteristics of air temperature over Greece. 15th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics - COMECAP 2021. <https://www.researchgate.net/publication/357435095>
- WMO, 2008. Guide to meteorological instruments and methods of observation. Geneva, Switzerland:World Meteorological Organization.
- Xu, X., Frey, S.K., Boluwade, A., Erler, A.R., Khader, O., Lapen, D.R., Sudicky, E., 2019. Evaluation of variability among different precipitation products in the Northern Great Plains. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 24, 100608 <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100608>
- Xu J, Ma Z, Yan S, Peng J, 2022. Do ERA5 and ERA5-land precipitation estimates outperform satellite-based precipitation products? A comprehensive comparison between state-of-the-art model-based and satellite-based precipitation products over mainland China. *Journal of Hydrology*, Volume 605:127353, ISSN 0022-1694 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127353>

LA CARATTERIZZAZIONE DELLA VARIABILITÀ AGROCLIMATICA NELLA PIATTAFORMA INTEGRATA *SARDINIALANDS*, UNO STRUMENTO DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO RURALE E ALLA COLTIVAZIONE SOSTENIBILE DI VITE, OLIVO, AGRUMI E MANDORLO

THE CHARACTERIZATION OF AGROCLIMATIC VARIABILITY IN THE INTEGRATED PLATFORM SARDINIALANDS, A TOOL TO SUPPORT RURAL LAND PLANNING AND SUSTAINABLE CULTIVATION OF VINE, OLIVE, CITRUS AND ALMOND TREE

Ana Fernandes de Oliveira^{1*}, Michele Fiori², Simone Cossu¹, Eva Lorrain³, Roberto Demontis³, Laura Muscas³, Carlino Casari³, Alessandro Marrone⁴, Antonio Frongia⁴, Rita Puddu⁴, Stefania Fanni⁴, Roberto Zurru¹, Daniela Satta¹

¹ AGRIS Sardegna, Agenzia Regionale per la Ricerca in Agricoltura, Servizio Ricerca nell'Arboricoltura, Via De Martini, 244 – Azienda Agliadò – 07100 Sassari

² ARPAS Sardegna, ARPAS – Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna, Dipartimento Meteorologico - Servizio Meteorologico, Agrometeorologico ed Ecosistemi, Viale Porto Torres, 119 – 07100 Sassari

³ CRS4 surl - Centro di Ricerca, Sviluppo e Studi Superiori in Sardegna, Loc. Piscina Manna, 09010 – Pula (CA)

⁴ AGRIS Sardegna, Agenzia Regionale per la Ricerca in Agricoltura, Servizio Ricerca studi ambientali, difesa delle colture e qualità delle produzioni, Viale Trieste 111 – 09123 Cagliari

*afoliveira@agrisricerca.it

Abstract

The main objective of the *Sardinia Lands* project is to create an integrated platform for the assessment of agro-ecological zones in Sardinia for the protection of sustainable agricultural systems in Sardinia. In order to create a multi-criteria model for the evaluation of cultural suitability of this territory, historical series of spatialized climatic, pedological and agronomic data have been used and elaborated through geoprocessing tools according to the ecological requirements of the various species and to environmental constraints. The model was calibrated for the cultivation of four strategic tree species: vine, olive, citrus and almond and allowed to characterize, in detail, the diverse areas according to specific environmental and cultural restraints. In particular, the characterization of bioclimatic variability has taken into account the average climatic trend in the reference period (1981-2010), the phenological cycles and physiological behavior of these four tree species.

Parole chiave

Vocazionalità bioclimatica, webGIS opensource, *Vitis vinifera* L., *Olea europaea* L., *Citrus* spp. *Prunus dulcis* L.

Keywords

Bioclimatic suitability, webGIS opensource, *Vitis vinifera* L., *Olea europaea* L., *Citrus* spp. *Prunus dulcis* L.

Introduzione

Lo sviluppo del settore agricolo è considerato la spina dorsale dello sviluppo sostenibile in tutte le regioni caratterizzate da forte ruralità nel bacino mediterraneo. Per molte regioni, una delle più importanti sfide della pianificazione territoriale è quella di adattare le coltivazioni e la gestione agro-forestale alle esigenze di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico e al contempo promuovere la resilienza delle comunità rurali e di sistemi produttivi virtuosi (FAO, 2017). Per affrontare in maniera consistente le attuali sfide ambientali e socioeconomiche del comparto agricolo, si rende necessaria una valutazione globale della coltivabilità del territorio per le varie specie agricole e forestali, tramite un approccio multicriteriale di modellazione basato su GIS, che combini metodi di valutazione pedologica, climatica, agronomica e produttiva, con le analisi socioeconomiche delle varie zone della

Sardegna (Berbel *et al.*, 2018). In questo senso, l'obiettivo principale del progetto *Sardinia Lands* è quello di realizzare una piattaforma integrata per la valutazione delle zone agro-ecologiche della Sardegna per la tutela dell'agricoltura sostenibile, in grado di tenere conto dei diversi fattori spaziali e dinamici dell'agricoltura nonché delle sfide sempre più complesse derivanti dalle nuove dinamiche ambientali ed economiche che investono l'intero comparto agricolo, riassunte schematicamente nella Fig.1. Oltre ad assolvere alla funzione di strumento per la pianificazione del territorio, la piattaforma integrata *Sardinia Lands* potrà rappresentare un'importante applicazione a supporto delle aziende agricole della Sardegna, e attraverso un modello semplificato per la valutazione della capacità produttiva ed economica delle diverse aree, potrà rappresentare un'utile risorsa per il riavvicinamento dei giovani all'agricoltura.

necessari per il calcolo degli indici bioclimatici ritenuti più pertinenti per la caratterizzazione e l'aggregazione in un unico indice composito per ogni coltivazione.



Fig.1 – Rappresentazione schematica degli obiettivi strategici correlati al progetto.

Fig.1 – Schematic representation of the strategic objectives related to the project.

Materiali e Metodi

La gestione e la pubblicazione dei dati del progetto è implementata dalla piattaforma *Sardinialands* sviluppata dal CRS4 e tuttora in fase di completamento. La piattaforma è realizzata tramite un'architettura di microservizi incentrati sul framework Kubernetes (<https://kubernetes.io/>). I microservizi si basano su software open source e su codice ad hoc prodotto dal CRS4. Propedeutica alla realizzazione di *Sardinialands* è stata la definizione del modello per le diverse tipologie di dati prese in considerazione (dato pedologico, bioclimatico e telerilevato da satellite e drone). Per la visualizzazione sul web, la piattaforma utilizza la libreria Map Wall, sviluppata dal CRS4: i dati vengono presentati secondo tre livelli e con dettaglio crescente da quello regionale, a quello di area di studio, a quello di singola azienda agricola (Fig.2a).

Per la creazione del modello multicriteriale di valutazione della vocazionalità colturale del territorio, sono state utilizzate serie storiche di dati climatici spazializzati, pedologici ed agronomici, elaborati tramite strumenti di *geoprocessing* in funzione delle esigenze ecologiche delle varie specie e delle limitazioni ambientali. Il modello è stato calibrato per la coltivazione di quattro specie arboree strategiche: vite, olivo, agrumi e mandorlo e ha consentito di caratterizzare le varie aree, in funzione di specifici vincoli ambientali e culturali.

Nella caratterizzazione della variabilità bioclimatica si è tenuto conto dell'andamento climatico medio nel periodo di riferimento (1981-2010), dei cicli fenologici e del comportamento fisiologico delle suddette specie arboree. I dati climatici mensili di precipitazioni, temperature e umidità relativa sono stati interpolati dall'Agenzia ARPAS, per realizzare *layers* ad alta risoluzione spaziale (40 m),

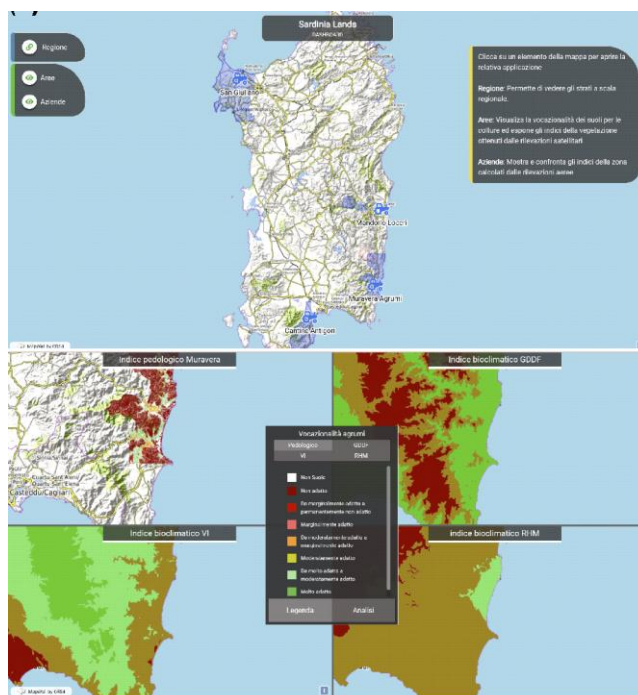


Fig.2 – Schermata iniziale della piattaforma *Sardinialands* (a) e al livello di area di studio, con la rappresentazione ortogonale della vocazionalità pedologica di sintesi e dei 3 indici che insieme formano la vocazionalità bioclimatica per la coltivazione di agrumi nell'areale di Muravera (b).

Fig.2 – Initial screen of the *Sardinialands* platform (a) and at the study area level, with the orthogonal representation of the synthetic pedological suitability and the 3 indices that together form the bioclimatic suitability for citrus cultivation in the Muravera area (b).

Gli indici bioclimatici più utilizzati nella zonazione e nelle analisi di attitudine alla coltivazione delle quattro specie studiate sono stati calcolati e valutati per l'intero territorio. Infine, una semplificazione analoga dei fattori pedologici colturali, ha premesso di creare una classificazione pedoclimatica complessiva per tutto il territorio (Fig.2b).

Risultati e Discussione

Le mappe bioclimatiche hanno evidenziato la pertinenza della scelta di tre indici che consentono di caratterizzare con grande dettaglio le esigenze termiche ed idriche delle coltivazioni durante le fasi fenologiche chiave per la crescita, la produttività e la qualità delle produzioni e classificano, con al massimo 5 *range* attitudinali, situazioni ottimali, limitanti e/o di rischio produttivo associato a fattori climatici.

Tab.1 - Descrizione degli indici bioclimatici selezionati, le relative equazioni e riferimenti bibliografici.

Tab.1 Description of selected bioclimatic indices, their equations, and bibliographic references.

Specie	Indici Bioclimatici	Equazione	Riferimento bibliografico
Vite	Indice di Huglin (°C giorno); $T_{base}=10^{\circ}C$	$Huglin = \left(\frac{30 - (T_{min} - 10) + (T_{max} - 10)}{2} \right) \times d$ k – fattore di correzione per la latitudine; d – numero di giorni	Huglin (1978)
	Indice di siccità (mm)	$Wo = \frac{30 - (P - ET_c)}{1}$ Wo – disponibilità idrica iniziale; P – precipitazione mese i; Tv – traspirazione potenziale; Es – evaporazione dal suolo	Riou <i>et al.</i> (1994)
	Indice freschezza delle notti (°C)	CN – Media di Tmin a settembre	Tonietto and Carbonneau (2004)
	Gradi giorno per la fioritura ($T_{base}=7^{\circ}C$)	$GG = \sum_{i=1}^n \max(0, T_{max,i} - 7) \times \Delta t$	Ioannis <i>et al.</i> (2021)
Olivo	Fabbisogno irriguo netto (mm); P_{net} – precipitazione effettiva marzo ad agosto	$P_{net} = P_{mar} - ET_c$ ETc – evapotraspirazione colturale; e P_{net} – precipitazione effettiva marzo ad agosto	
	Temperature elevate a maturazione (°C); Gradi giorno per la fioritura ($T_{base}=13.5^{\circ}C$)	HT – temperatura massima nei mesi di luglio e agosto $GG = \sum_{i=1}^n \max(0, T_{max,i} - 13.5) \times \Delta t$	Tercan and Dereli (2020)
	Regime igrometrico primaverile-estivo (%)	RHm – Umidità relativa minima nei mesi di giugno e luglio	
Agrumi	Importanza del regime pluviometrico di Vernet (°C/mm); P_{max} – precipitazione autunnale (set-nov); P_{min} – precipitazione estiva (giu-ago); T_{max} – temperatura massima mese più caldo; P – precipitazione annuale	$I = 100 \times \frac{P_{max} - P_{min}}{P} \times \frac{T_{max} - 10}{10}$	Vernet (1965)
	Temperatura minima nel periodo invernale (°C)	mTWP – temperatura minima nei mesi di dicembre e gennaio	
Mandorlo	Precipitazioni primaverili-estive / Precipitazione annuale	SSP/P; SSP – precipitazione nei mesi da maggio a agosto; P – precipitazione annuale	

La piattaforma così strutturata, consente sia l'osservazione delle mappe per singolo indice (Tab.1), sia la semplificazione in un unico indice bioclimatico composito classificato come indicato nelle Tab.2 e 3 e rappresentato nella Fig.3. La semplificazione dell'analisi in un ridotto numero di classi altitudinali, è ottimale anche perché consente l'interpretazione visiva del contesto bioclimatico regionale e la comparazione immediata dei vari aspetti chiave dell'attitudine colturale, agricola e agroforestale, a differenti scale spaziali, da quelle dall'azienda o dell'areale a quelle provinciali o dell'intera regione. Nelle mappe finali, oltre alle aree non coltivabili (classificate in non adatte o non suolo) è possibile visualizzare, per ogni areale, le mappe di attuale uso del suolo (2011) a confronto con le mappe di attitudine pedoclimatica, e per ogni punto, i valori assegnati per ciascuna grandezza visualizzata, come rappresentato nella Fig.2b. Per ognuna delle quattro coltivazioni la quantificazione del tempo termico accumulato è il fattore preponderante nel determinare la risposta fisiologica delle piante alle condizioni climatiche. Per questo motivo gli indici termici sono più efficaci nel descrivere le esigenze e rappresentare le disponibilità climatiche per lo sviluppo vegetativo e dei caratteri qualitativi più significativi delle produzioni (Tab.2 e 3).

In effetti, la descrizione delle classi di vocazionalità fa riferimento, per esempio, ai periodi chiave per la sintesi e l'accumulo di zuccheri, antociani e polifenoli nella vite, di olio e polifenoli nell'oliva, per la fioritura e l'allegagione nel mandorlo e degli agrumi (Tab.2 e 3).

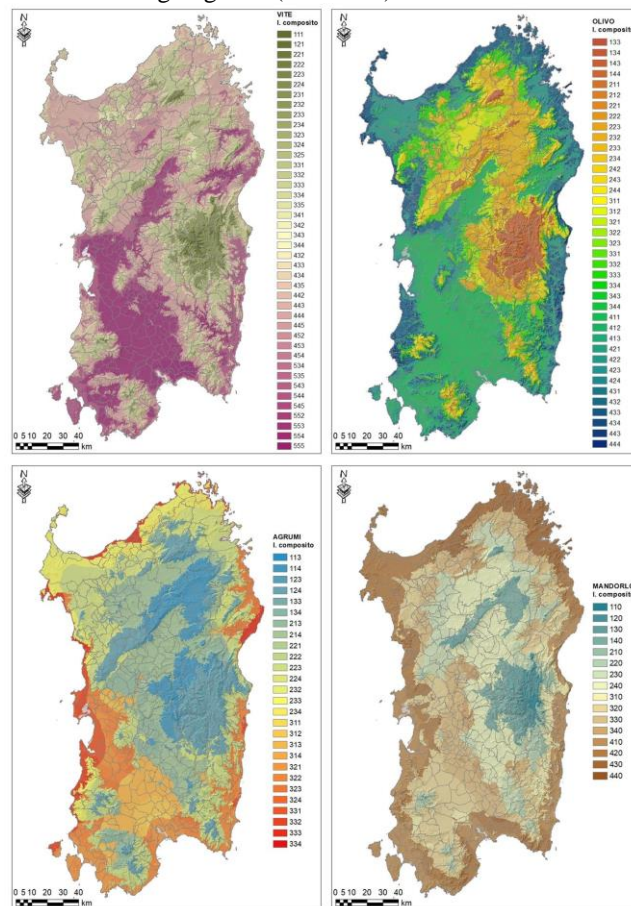


Fig.3 – Mappe semplificate dell'indice composito di vocazionalità bioclimatica per la produzione di vite, olivo, agrumi e mandorlo in Sardegna nel periodo di riferimento (1981-2010).

Fig.3 – Simplified maps of the bioclimatic suitability composite index for vine, olive, citrus and almond production in Sardinia for the reference period (1981-2010).

Anche la stima del bilancio idrico è molto importante in quanto fornisce un'indicazione complessiva del fabbisogno irriguo e della produttività potenziale, a fronte delle esigenze di ogni specie e/o varietà e delle disponibilità di risorse idriche piovane che in ambiente mediterraneo possono risultare insufficienti per lunghi periodi e variare fortemente all'interno di una macroregione. Infine, nel caso degli agrumi, è stata presa in considerazione anche l'umidità relativa nel periodo primaverile-estivo, visto che in alcuni degli areali di produzione l'occorrenza di giornate calde con ridotta umidità atmosferica può compromettere fortemente l'allegagione dei frutti. Infine, sono state effettuate

Tab.2 – Descrizione delle categorie relative classi degli indici combinati per la formazione dell'indice composito per gli agrumi.

Tab.2 – Description of the categories and related classes of the indices combined to form the composite index for citrus.

Categorie GDDf	Classi GDDf	CONDIZIONI TERMICHE PRIMAVERILI	Categorie RHm	Classi RHm	REGIME IGROMETRICO PRIMAVERILE-ESTIVO	Categorie VI	Classi VI	REGIME IDRICO
100	< 120	Zona fredda. Elevato a moderato rischio di danni causati da gelo e/o congelamento dei tessuti vegetali. Basse disponibilità termiche per soddisfare i fabbisogni degli agrumi durante la fioritura.	10	< 30	Bassi livelli di umidità relativa minima e media nel periodo primaverile. Rischio di elevata percentuale di cascola di fiori e frutti.	1	> 45	Eccessiva concentrazione di precipitazioni nel per autunno-invernale, prolungato stress idrico estivo. Fabbisogno irriguo molto elevato
200	120 - 165	Zona temperata. Basso rischio di danni causati da gelo e/o congelamento dei tessuti vegetali. I decorsi termici possono soddisfare i fabbisogni di temperatura delle specie e/o varietà di agrumi a fioritura tardiva.	20	30 - 37	Sufficienti livelli di umidità relativa minima e media nel periodo primaverile. Medio-basso rischio di incremento della cascola di fiori e frutti.	2	35 - 45	Precipitazione annuale moderata e concentrata nel per autunno-invernale. Fabbisogno irriguo particolarmente elevato nel periodo estivo
300	> 165	Zona calda. Assenza di rischio di danni causati da gelo e/o congelamento dei tessuti vegetali. Elevate disponibilità termiche per soddisfare i fabbisogni termici degli agrumi.	30	> 37	Buoni livelli di umidità relativa minima e media nel periodo primaverile. Basso rischio di incremento della cascola di fiori e frutti.	3	20 - 35	Buona distribuzione annuale della precipitazione. Fabbisogno irriguo medio-basso
						4	< 20.0	Elevata precipitazione e scarsa distribuzione annuale. Nullo o scarso fabbisogno irriguo

Tab.3 – Descrizione delle categorie e relative classi degli indici combinati per la formazione dell'indice composito per il mandorlo.

Tab.3 – Description of the categories and related classes of the indices combined to form the composite index for almond.

Categorie mTWP	Classi mTWP	CONDIZIONI TERMICHE INVERNALI	Categorie e SSP/PP	Classi SSP/PP	REGIME IDRICO
100	< 3.1	Zona troppo fredda. Elevato rischio di danni causati da gelo e/o congelamento dei tessuti vegetali	10	< 0.338	Zone umida, con elevata disponibilità di acqua nel suolo anche durante le fasi di sviluppo del frutto. Nullo a scarso fabbisogno irriguo
200	3.1 - 4.7	Zona fredda. Moderato rischio di danni causati da gelo e/o congelamento dei tessuti vegetali	20	0.338 - 0.314	Zone sub-umida a umida, con sufficienti disponibilità di acqua nel suolo, durante le fasi di sviluppo del frutto. Basso fabbisogno irriguo
300	4.7 - 6.0	Zona temperata. Basso rischio di danni causati da gelo e/o congelamento dei tessuti vegetali	30	0.314 - 0.289	Zone moderatamente secca, con sufficienti disponibilità di acqua nel suolo durante le fasi di sviluppo del frutto. Medio fabbisogno irriguo
400	> 6.0	Zona calda. Assenza di rischio di danni causati da gelo e/o congelamento dei tessuti vegetali	40	> 0.290	Zone molto secca, con scarse disponibilità di acqua nel suolo durante le fasi di sviluppo del frutto. Elevato fabbisogno irriguo

interpolazioni per i valori di intensità del vento medio e massimo giornaliero sulla base dei dati medi di 80 stazioni meteorologiche dell'Agenzia ARPAS, in modo da poter individuare e visualizzare nella piattaforma, insieme alla mappa di vocazionalità bioclimatica per gli agrumi, le aree non adatte o con forte suscettibilità a danni causati dal vento.

Conclusioni

La piattaforma *Sardinialands* è composta da un set di strumenti integrati in un unico Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) che, a partire dall'analisi satellitare, dalla caratterizzazione dei suoli, dai dati bioclimatici ed agronomici, consente di rappresentare la vocazionalità dei suoli regionali su ampia scala e si rende utile per realizzare una pianificazione strutturata del territorio per la tutela e la valorizzazione degli agrosistemi locali, tenendo conto dei cambiamenti climatici in essere, favorendo il passaggio a sistemi di coltivazione innovativi, ad un uso efficiente delle risorse naturali e ad una maggiore sostenibilità delle produzioni nelle aree montane, collinari e di pianura. L'analisi multispaziale della variabilità bioclimatica ha consentito di valutare la vocazionalità bioclimatica per la coltivazione di vite, olivo, agrumi e mandorlo nell'ultimo trentennio e consentirà l'analisi dell'omogeneità attuale, l'identificazione di sub-zone all'interno degli areali di maggior dimensione e variabilità geo-pedologica, climatica e qualitativa; l'individuazione di nuove zone potenziali per la coltivazione anche in un contesto di riscaldamento globale; l'analisi di condizioni di rischio di riduzione e/o incremento dell'attuale attitudine produttiva a causa dei cambiamenti climatici. La prosecuzione del progetto prevede l'analisi dell'evoluzione della vocazionalità bioclimatica e dell'impronta idrica per la coltivazione delle 4 specie oggetto di studio nell'ultimo decennio e nel contesto dei cambiamenti climatici in corso. In una fase successiva, verrà associato al modello di caratterizzazione bio-agronomica dei territori lo studio dei fattori socio-economici di vocazionalità colturale. L'integrazione consentirà di far emergere in maniera completa le vocazionalità ambientali per gruppi di colture strategiche per l'isola. Nella piattaforma integrata *Sardinialands*, è prevista inoltre la visualizzazione di mappe satellitari e/o originate da telerilevamento con droni di indici di vegetazionali utili all'ottimizzazione della gestione agronomica aziendale in differenti aree di studio.

Bibliografia

FAO. 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [Pörtner H.-O., Roberts D.C., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., Tignor M., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Lösschke S., Möller V., Okem A. (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press.

Berbel J., Bournaris T., Manos B., Matsatsinis N., Viaggi D., 2018. Multicriteria Analysis in Agriculture: Current Trends and Recent Applications. Springer; 575 pp.

Huglin P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. CR Acad Agr 64:1117–1126

Tonietto J., Carbonneau A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agric Meteorol 124:81–97

Riou C., Becker N., Sotés Ruiz V., Gomez-Miguel V. and others.1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg.

Ioannis C., Polychroni I., Psomiadis E., Nastos P. 2021. Spatiotemporal estimation of the olive and vine cultivations growing degree days in the Balkans region. Atmosphere 12, no. 2: 148.

Tercan E., Dereli M.A. 2020. Development of a land suitability model for citrus cultivation using GIS and multi-criteria assessment. techniques in Antalya province of Turkey. Ecological Indicators,117, 106549.

Vernet J.L. 1965. Recherches géobotaniques sur les colonies de chênes verts (*Quercus Ilex* L.) du basin supérieur du Tarn. Thèse Doct. Spécialité, tirage ronéotypé, 7 tabl., 12 fig., 2 cartes et 1 climagramme h.t., 132pp.

NUOVE RISORSE BIOCLIMATICHE PER LA VITICOLTURA IN ABRUZZO

NEW BIOCLIMATIC INDEX FOR VITICULTURE IN THE ABRUZZO REGION

Bruno Di Lena^{1*}, Alberto Palliotti², Lucia Giordano², Gabriele Curci³

¹ Abruzzo Region, Agriculture Directorate-Regional Agro-Meteorological Centre, 66020 Scerni, Italy

² Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Università degli Studi di Perugia, Borgo XX giugno 74, 06128 Perugia

³ Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche, Università degli Studi dell'Aquila Center of Excellence in Telesensing of Environment and Model Prediction of Severe events (CETEMPS) L'Aquila

* bruno.dilena@regione.abruzzo.it

Abstract

Abruzzo Region has been affected by climate change effects, with a significant impact on the regional viticultural sector. There is a different territorial distribution of bioclimatic resources, allowing the cultivation of medium-late strains, even in the regional inland area.

Parole chiave

Indici bioclimatici, viticoltura. Abruzzo

Keywords

Bioclimatic indices, viticulture, Abruzzo region

Introduction

This work describes the evolution of some bioclimatic indices in the period 1974-2021, aiming to evaluate climate change impacts on the Abruzzo wine sector.

This study is a part of a broader context, concerning viticultural development in European areas. Recent studies (Droulia and Charalampopoulos 2021), based on atmospheric circulation models, predict the following future macro-scenarios:

- Central and northern areas could benefit from increased thermometric supplies,
 - Decrease in yield, qualitative imbalances
 - Possibility of extending the grapevine cultivation to new areas, which were previously unsuitable
- Introduction of new vines.

Materials and Methods

The climatic study has been carried out using meteorological quality-controlled data collected by Regional Hydrographical Service in 34 locations from 1974 to 2021 (Fig. 1) (Curci et al. 2021).

The following bioclimatic indices have been calculated:

Degree days (Amerine and Winkler)

$$\sum_{1/4}^{31/10} (T_{med} - 10^{\circ}C)$$

Huglin Index

$$\sum_{1/4}^{30/09} \frac{(T_{med} - 10^{\circ}C) + (T_{max} - 10^{\circ}C)}{2} * K$$

where K= 1.03

Gladstone effective degree days

$$\sum_{1/4}^{30/09} (T_{med} - 10^{\circ}C)$$

per $10^{\circ}C < T_{med} < 10^{\circ}C$ allora 0, se $T_{med} > 19^{\circ}C$ allora 9

Maps were created with Surfer 8 (Golden Software Inc. Colorado USA) using ordinary Kriging technique.

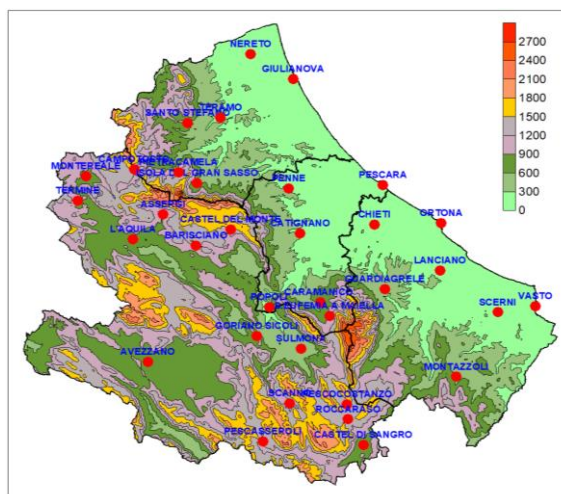


Fig. 1– Map showing orography of Abruzzo region and the stations considered

Fig. 1– L'orografia dell'Abruzzo e le stazioni considerate

Results and Discussion

The comparison between subperiods 1974-1997 (A) and 1998-2021 (B), concerning the analyzed indices, highlights a significant increase of bioclimatic resources, by which medium and high heat demand strains could be cultivated, even in inland areas (Fig 2-4).

It is well known that vines better develop/grow their qualitative features when placed into an environmental setting where bioclimatic resources are comparable to their heat demand. Thermic needs of some vines according to analyzed bioclimatic indices are shown in Tables 1-3 (Palliotti *et al.* 2021).

Rising temperatures have already led to a significant early harvest of Montepulciano in hilly areas, as shown in recent studies (Di Lena *et al.* 2018, Palliotti *et al.* 2021).

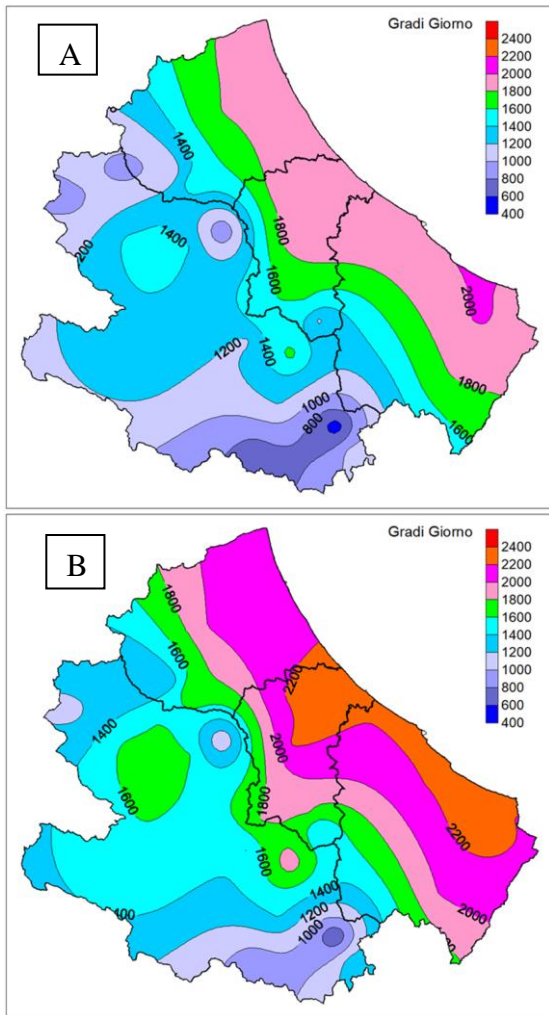


Fig. 2 – Degree-days (Amerine e Winkler) A) 1974-1997
B) 1998-2021

Fig. 2 – Gradi giorno (Amerine e Winkler) A) 1974-1997
B) 1998-2021

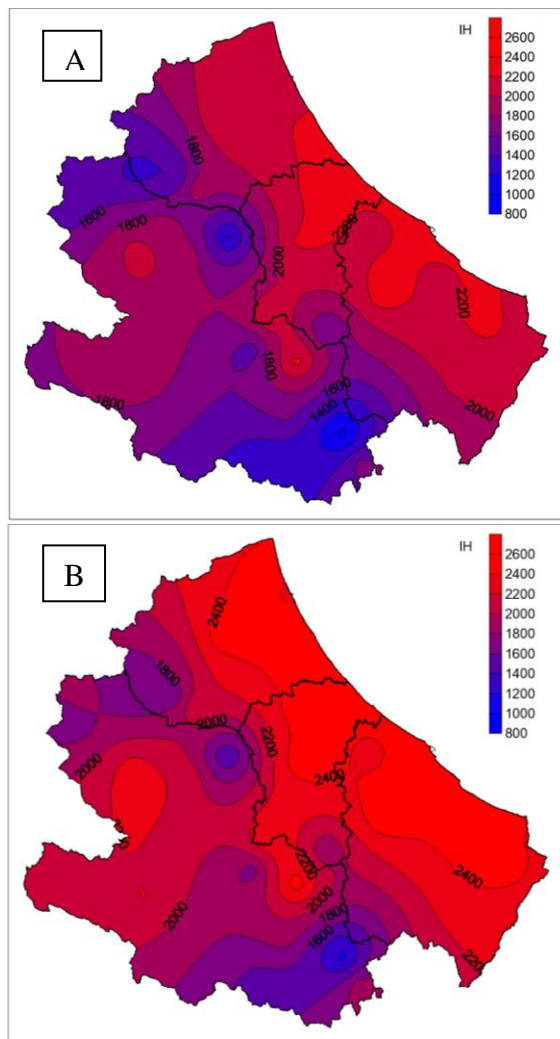


Fig. 3 - Huglin index, A) 1974-1997 B) 1998-2021

Fig. 3 – Indice di Huglin A) 1974-1997 B) 1998-2021

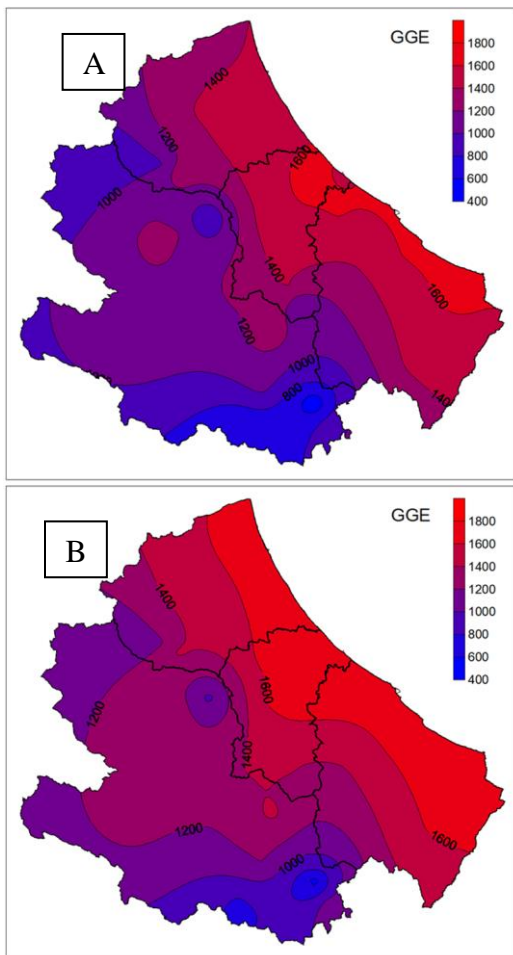


Fig. 4 – Gladstone effective degree-days A) 1974-1997
B) 1998-2021

Fig. 4 – Gradi giorno efficaci di Gladstone A) 1974-1997
B) 1998-2021

Table 1 – Classification of some cultivar based on their thermic needs in degree-days. The bolded vines are the most cultivated in the Abruzzo region.

Tab. 1 – Classificazione di alcune cultivar in base alle loro necessità termiche in gradi giorno. I vitigni in grassetto risultano i più coltivati nella regione Abruzzo.

NECESSITA' TERMICHE (GG °C)	CULTIVAR
1200-1400	Chardonnay , Riesling, Pinot nero
1401-1600	Chardonnay , Pecorino , Riesling, Sauvignon, Verdicchio, Cabernet sauvignon, Cabernet franc Merlot, Nebbiolo, Sangiovese
1601-1800	Pecorino , Riesling Italice, Trebbiano toscano , Verdicchio, Cabernet franc, Grignolino, Merlot, Montepulciano , Sangiovese
1801-2000	Riesling Italice, Trebbiano abruzzese , Trebbiano toscano , Lambrusco Maestri, Lambrusco salamino, Montepulciano , Sangiovese
2001-2200	Fiano, Grillo, Passerina , Trebbiano Abruzzese , Calabrese, Montepulciano , Negro Amaro
>2200	Fiano, Grillo, Negro Amaro, Aglianico

Table 2 – Classification of some cultivar based on their thermic needs in Huglin index. The bolded vines are the most cultivated in the Abruzzo region.

Tab. 2 – Classificazione di alcune cultivar in base alle loro necessità termiche in Indice di Huglin. I vitigni in grassetto risultano i più coltivati nella regione Abruzzo.

NECESSITA' TERMICHE (IH)	CULTIVAR
1500	Muller Thurgau
1600	Pinot bianco, Pinot grigio, Gamay, Gewurztraminer
1700	Chardonnay , Sauvignon blanc, Pinot nero, Riesling
1800	Cabernet franc, malbec, Primitivo, Sangiovese
1900	Chenin, Riesling italice, Cabernet sauvignon, Merlot,
2000	Trebbiano toscano
2100	Grenache, Syrah
2200	Carignan

Table 3 – Classification of some cultivar based on their thermic needs in Gladstone effective degree-days. The bolded vines are the most cultivated in the Abruzzo region.

Tab. 3 – Classificazione di alcune cultivar in base alle loro necessità termiche in Gradi giorno efficaci di Gladstone. I vitigni in grassetto risultano i più coltivati nella regione Abruzzo.

NECESSITA' TERMICHE (GGE)	CULTIVAR
1100	Muller Thurgau, Pinot nero
1150	Chardonnay , Sauvignon blanc, Dolcetto, Pinot nero
1200	Riesling, Cabernet franc, Primitivo, Sangiovese , Malbec
1250	Barbera, Cabernet franc, Cabernet sauvignon, Sangiovese, Shiraz
1300	Cabernet sauvignon, Nebbiolo
1350	Trebbiano toscano , Verdicchio, Grignolino
1400	Clairette, Terret noir

Conclusions

The Abruzzo region has been affected by a sharp increase in temperatures during the vegetative-productive cycle.

This land has such climatic variability that cultivation of both early (Pecorino and Moscato bianco) and late (Trebbiano abruzzese, Trebbiano Toscano, Passerina) vines is possible.

Early and mid-early white vines could potentially find better environmental conditions in inland hilly and mountain areas with a higher altitude than the ones currently more vine-cultivated, i.e. hilly and coastal strips of Teramo, Pescara and Chieti provinces.

Climate change has caused a different distribution of bioclimatic resources in Abruzzo, allowing the cultivation of mid-late vines, even in inland areas close to hilly strips along the coast, which shall be deemed in the next varietal planning of the Abruzzo region.

References

- Di Lena B; Silvestroni O; Lanari V; Palliotti A. 2018. Climate change effects on cv. Montepulciano in some Wine-growing areas of the Abruzzi Region (Italy). *Theoretical and Applied Climatology* pp 1-11; doi:10.1007/s00704-018-2545-y
- Droulia F; Charalampopoulos I. 2021. Future Climate Change Impacts on European Viticulture: A Review on Recent Scientific Advances. *Atmosfere* volume 12 Issue 4
- Curci G.; Guijarro, J. A.; Di Antonio L.; Di Bacco M.; Di Lena B.; Scorzini A. R. 2021. Building a local climate reference dataset: Application to the Abruzzo region (Central Italy), 1930–2019. *International Journal of Climatology* 41 (8), 4414-4436.
- Palliotti A, Poni S; Silvestroni O. 2018. *Manuale di Viticoltura*. Edagricole
- Palliotti A; Di Lena B; Silvestroni O; Curci G. 2021. Capire il climate change per affrontare il futuro. *Terra e vita* n. 31.
- Palliotti A; Di Lena B; Silvestroni O; Curci G. 2021. Capire il climate change per affrontare il futuro. *Terra e vita* n. 31-2021 15 ottobre
- Palliotti A; Odoardi M. 2021. Il vigneto Abruzzo 2000 VVQ numero sei

COLTIVAZIONE DELLA FRAGOLA IN TUNNEL-SERRA NEL METAPONTINO E PARAMETRI AGROMETEOROLOGICI

GREENHOUSE-TUNNEL STRAWBERRY CROP IN METAPONTO PLAIN AND AGROMETEOROLOGICAL PARAMETERS

Giovanni Lacertosa^{1*}, Giovanni Rocco Quinto¹, Francesco D'Angella¹, Carmelo Mennone¹, Emanuele Scalcione¹

¹ALSIA, Agenzia Lucana di Sviluppo ed Innovazione in Agricoltura, SS 106 Km 448.2, 75010 Metaponto (MT)

*corresponding author giovanni.lacertosa@alsia.it

Abstract

The cultivation area of strawberry has increased, in recent years, in South Italy Metaponto plain reaching one thousand hectares. The cultivation is carried out in tunnels, with temporary covers with a rainproof function, which in any case affect the parameters of irradiation, temperature and humidity of the air, resulting in a microclimate favorable to the crop. The main agro-meteorological parameters (temperature, humidity, wind direction and speed) were analyzed to define and support the management of the ventilation openings and the orientation of the tunnel itself, in order to optimize the temperature and humidity conditions. The results showed that the prevailing wind directions are Scirocco, Tramontana and Mistral to be considered in the orientation of the greenhouse-tunnels in order to better manage the ventilation openings to condition temperature, humidity and CO₂ parameters.

Keywords

Mediterranean environment, greenhouse-tunnel orientation, wind direction

Parole chiave

Ambiente Mediterraneo, orientamento della serra-tunnel, direzione del vento

Introduzione

La fragola nel Metapontino ha incrementato, negli ultimi anni, la superficie di coltivazione raggiungendo i mille ettari (Mennone, 2021). La coltura viene realizzata in tunnel, con coperture temporanee con funzione anti-pioggia, che comunque condizionano i parametri di radiazione, temperatura e umidità dell'aria. Si tratta di strutture protettive che non rientrano nella tipologia propria della serra, infatti sono facilmente rimovibili, non impediscono il rilascio di prodotti fitosanitari nell'ambiente e, pertanto nella scelta dei presidi fitosanitari, rientrano nella tipologia di "pieno campo".

Purtuttavia la coltivazione in tunnel condiziona considerevolmente i parametri agrometeorologici determinando un microclima favorevole alla coltura. La fragola è una specie molto esigente in termini di temperatura, essendo una pianta che predilige temperature miti e fresche. Infatti il massimo di efficienza fotosintetica, intesa come saldo attivo fra fotosintesi e respirazione, viene raggiunta a 16°C. Temperature oltre tale soglia determinano un considerevole aumento della respirazione, mentre la fotosintesi si stabilizza, per cui l'efficienza rapidamente diminuisce. Oltre i 28 °C la fotosintesi si riduce notevolmente, mentre la respirazione si mantiene su livelli molto alti, dando così un bilancio energetico negativo (Sønstebj e Heide, 2008. Lacertosa 2013). La tecnica colturale prevede due tipologie di impianto: piante frigoconservate e piante fresche. Le piante vegetanti, maggiormente diffuse nel Metapontino, vengono messe a dimora con tutte le foglie, con l'apparato radicale integro, se non eccessivamente lungo.

I tunnel-serra sono realizzati in ampie dimensioni (5.0-5.5 m di larghezza, 35-40 m al massimo di lunghezza per assicurare un buon arieggiamento, con altezza al colmo minima di m 2.5, eventualmente multipli per ridurre l'effetto bordo) la cui struttura di base copre in generale 4 file binate. Inoltre, i disciplinari di produzione integrata della Regione Basilicata (2021) consigliano di arieggiare i tunnel quando la temperatura massima interna supera i 22°C, di aprirli completamente quando la temperatura minima esterna è superiore ai 16°C, di disporre le file binate in direzione Nord-Sud, consentendo in questo modo una più uniforme distribuzione della luce. La ventilazione e la gestione delle aperture dei tunnel-serra sono di estrema importanza per l'impollinazione, per ottenere un microclima favorevole alla crescita della coltura (differenziazione a fiore nei mesi invernali, produzione costante e di qualità) e per ridurre i rischi di infezioni di patogeni fungini (botrite ed oidio). Infatti al fine di garantire un microclima favorevole alla produttività rispetto al campo aperto, la dimensione e la gestione delle aperture di ventilazione, in una serra passiva, è fondamentale per la regolazione sia della temperatura che della CO₂ (Stanghellini, 2011).

Scopo dello studio è stato quello di analizzare i dati di ventosità, temperatura e umidità delle aree di coltivazione della fragola del Metapontino, al fine di consigliare l'orientamento più idoneo dei tunnel-serra, per una ottimale gestione delle aperture di ventilazione.

Materiali e Metodi

Sono stati analizzati i principali parametri agrometeorologici (temperatura, umidità, direzione e velocità del vento) che contribuiscono a definire e supportare la gestione delle aperture di ventilazione dei tunnel-serra. Lo studio è stato effettuato utilizzando i dati orari di quattro stazioni del Servizio Agrometeorologico Lucano (S.A.L.), rappresentative delle diverse altimetrie delle principali zone di coltivazione della fragola, che ricadono nella piana del Metapontino (vedi Tab.1). Inoltre, in quattro siti produttivi, sono stati posizionati misuratori di temperatura e di umidità (Spectrum Technologies) all'interno dei tunnel coltivati a fragola, confrontando i dati con quelli rilevati all'esterno. Infine, attraverso l'analisi di immagini Google Maps riferite al 2019, sono stati rilevati gli orientamenti prevalenti dei tunnel-serra, coltivati a fragola nel Metapontino, su una superficie di circa il 10% dell'investimento complessivo.

Tab.1 – Caratteristiche geografiche delle stazioni meteo e dei tunnel-serra monitorati

Tab.1 - Geographical characteristics of the meteorological stations

Denominazione	ID	Altimetria slm (m)	Distanza dal mare (km)
Policoro Sottano	PUN	10	4
Metaponto Pantanello	PAN	24	5
Policoro c.da Troyli	PTR	117	9
Pisticci - Castelluccio	PCS	192	16
Az. Mormando	004_MA_16	89	10
Az. Fumarola	013_MA_21	25	4
Az. Fuina	018_MA_21	28	5
Prova CIV	005_MA_22		7

Risultati e Discussione

In tabella 2 si riportano i parametri climatici medi dei valori di temperatura e ventosità rilevati da febbraio a maggio, ovvero nel periodo di maggiore produzione della fragola ove la gestione delle aperture di ventilazione rappresenta un aspetto critico al fine di mantenere un microclima adatto ad una buona produttività della coltura. Ad esclusione della stazione PCS, quella a quota altimetrica maggiore e più distante dal mare, i valori di T_med e ventosità sono simili tra le stazioni analizzate. Nel periodo di più intensa insolazione giornaliera, ovvero dalle ore 11 alle 15, maggiore risulta la ventosità rispetto al dato delle 24 ore, determinando un effetto positivo al ricambio dell'aria all'interno dei tunnel-serra. I valori della direzione del vento, riportati in tabella 2, non indicano la variabilità del parametro durante la giornata, pertanto è stato necessario analizzare i dati orari nelle diverse componenti, ottenendo due rappresentazioni grafiche (Fig. 1).

Tab.2 - Parametri climatici medi da febbraio a maggio, dall'anno 2017 al 2021

Tab.2 - Average climatic parameters from February to May (2017-2021 period)

periodo	Parametri	PUN	PAN	PTR	PCS	Media
ore 11-15	T_med (°C)	17,2	17,9	17,4	16,3	17,2
	Dir. vento (gradi)	178,7	171,4	209,1	183,6	185,7
	Raffica (m/s)	21,6	23,0	22,8	23,9	23,9
	Vel. vento (m/s)	3,6	3,4	3,7	3,7	3,6
24 ore	T_med (°C)	13,1	13,7	13,9	12,8	13,4
	Dir. vento (gradi)	225,0	188,1	220,5	224,9	214,4
	Raffica (m/s)	21,6	23,0	22,8	24,5	24,5
	Vel. vento (m/s)	2,7	2,5	3,2	3,1	2,9

I grafici riportati indicano la direzione prevalente dei venti (media di quattro stazioni da febbraio a maggio) sia nelle ore più calde della giornata sia nelle 24 ore. In oltre il 60% dei casi i venti prevalenti provengono da S-E, N e N-O, nelle ore più calde, mentre per l'intera giornata, prevalgono i venti del quadrante N-O. Quindi, al fine di poter arieggiare i tunnel-serra sarebbe utile che essi fossero orientati con un grado di angolazione di circa 315°, gestendo le aperture dei tunnel in considerazione dei venti prevalenti, ossia lo Scirocco, la Tramontana ed il Maestrale.

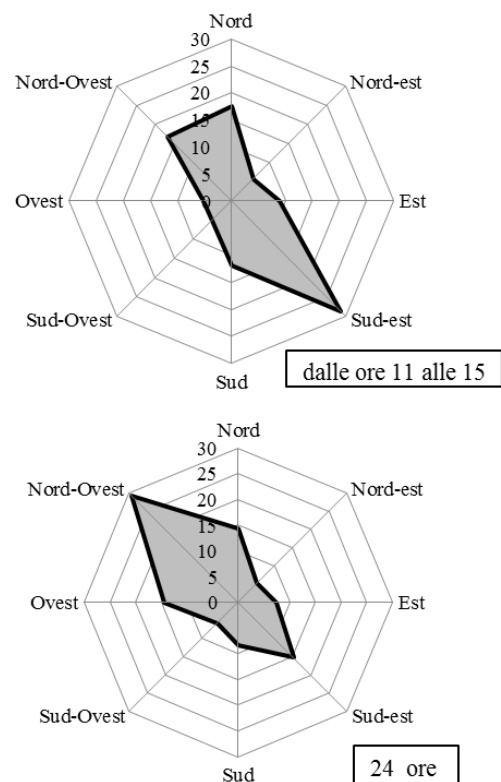


Fig.1 – Direzione prevalente dei venti, media di quattro stazioni da febbraio a maggio

Fig.1- Prevailing wind direction, average of four stations from February to May

In tabella 3 si riportano gli orientamenti prevalenti dei tunnel-serra della pianura Metapontina determinati attraverso lo studio delle analisi di immagine di Google Maps (2019). Nel 78,1% dei casi le aziende coltivano la fragola in tunnel-serra disposti con un orientamento N-NE, parallelo alla linea di costa ed alla S.S. 106, mentre nel 21,9% dei casi preferiscono un orientamento O-NO, perpendicolare alla S.S. 106 e parallelo alle linee di deflusso dei canali di drenaggio. Le stesse linee di deflusso identificate da Carter, attraverso l'osservazione di foto aeree, dimostrando che si trattava di canali di drenaggio realizzati nella prima metà del 5° secolo a.c., cioè 2.500 anni prima della Riforma fondiaria degli anni '50 (Carter, 2022).

L'orientamento dei tunnel-serra è comunque condizionato anche da altri fattori quali la pendenza ed il deflusso delle acque, la geometria degli appezzamenti e degli appoderamenti, la presenza di canali di scolo, la rete stradale e quella rurale. Comunque quello prevalente si avvicina alle indicazioni, riportate nei disciplinari di Produzione Integrata, della disposizione delle bine in direzione Nord-Sud.

Tab.3 - Orientamento prevalente dei tunnel-serra nel Metapontino

Tab.3 - Main orientation of greenhouse tunnels in the Metaponto plain

Gradi sessagesimali	Orientamento	(%)
301°	O-NO	21,9
29°	N-NE	78,1

In figura 2 si riportano i valori medi di temperatura ed umidità rilevati in quattro siti produttivi confrontati con i dati delle stazioni meteorologiche più vicine, per il periodo marzo-aprile.

I valori di temperatura dell'aria nei tunnel-serra sono stati sensibilmente maggiori rispetto all'esterno (19,8; 21,1 e 29,4% rispettivamente per i valori medi, minimi e massimi). L'umidità nei tunnel-serra ha presentato invece sempre valori inferiori rispetto all'ambiente esterno (minori del 27,9; 37,4 e 22,2% rispettivamente dei valori medi, minimi e massimi). Risulta quindi che il microclima all'interno dei tunnel-serra è considerevolmente differente rispetto al pieno campo, richiedendo comunque una gestione ottimale al fine contenere sia gli eccessi che i deficit termici. Infine quando la temperatura notturna si stabilizza intorno ai 16°C occorre aprire stabilmente i tunnel-serra.

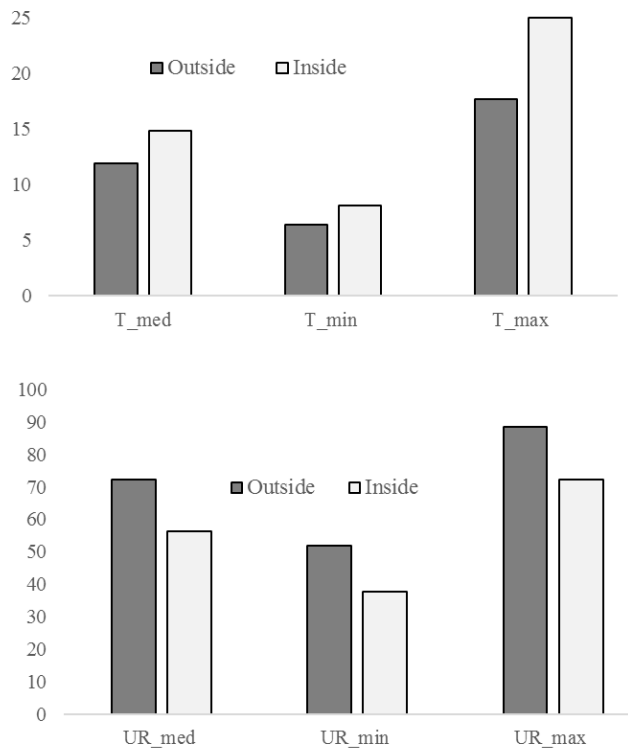


Fig.2 - Valori di temperatura (°C) ed umidità relativa (%) in quattro siti produttivi (media da febbraio-aprile)

Fig.2 - Temperature (°C) and relative humidity (%) values in four production sites (average from February-April)

Conclusioni

L'orientamento dei tunnel-serra nel Metapontino ove viene coltivata la fragola rappresenta una scelta tecnica che è determinata da svariati fattori: la pendenza ed il deflusso delle acque, la geometria degli appezzamenti e degli appoderamenti, la presenza di canali di scolo, la rete stradale e quella rurale. Purtroppo al fine di migliorare le condizioni microclimatiche che si determinano negli apprestamenti protettivi gestendo al meglio le chiusure ed aperture di ventilazione dei tunnel-serra risulta di estrema importanza conoscere quali sono i venti prevalenti nel periodo di maggiore produzione. Dallo studio eseguito emerge che nell'area del Metapontino i venti prevalenti sono lo Scirocco, la Tramontana ed il Maestrale che non coincidono con la disposizione prevalente adottata dai fragolicoltori del comprensorio. Infatti la frequenza maggiore dell'attuale orientamento dei tunnel-serra si avvantaggerebbe dei venti del Libeccio e del Grecale, scarsamente rappresentativi nell'area oggetto di studio.

Bibliografia

- Carter J. C., 2022. Archeologia della civiltà rurale, lectio magistralis Agrifoglio 107: 1-5
- Lacertosa G., Scalcione E., Mennone C., Quinto G. R., Cardinale N., Montemurro F., 2011. Influenza delle risorse termiche sulla precocità e livello produttivo della fragola del metapontino. Atti AIAM XIV: 87-88.

- Mennone C. e Lacertosa G. 2021. Confronto tra rese e qualità delle fragole metapontine. L'Informatore Agrario, 19, 53-55
- Regione Basilicata., 2021. I disciplinari di produzione integrata della Regione Basilicata
- Stanghellini C. 2011. La gestione climatica della serra con particolare riguardo ai fattori luce, temperature, CO₂. In Manuale di orticoltura: la serra sostenibile. 155-171
- Sønsteby A., Heide O.M., 2008. Temperature responses, flowering and fruit yield of the June-bearing strawberry cultivars Florence, Frida and Korona. Scientia horticulturae 119: 49-54.

UN'ANALISI AGROMETEOROLOGICA MENSILE A SCALA NAZIONALE SULLA RIVISTA ONLINE “PIANETA PSR” A MONTHLY AGROMETEOROLOGICAL ANALYSIS AT A NATIONAL SCALE IN THE ONLINE MAGAZINE “PIANETA PSR”

Barbara Parisse^{1*}, Roberta Alilla¹, Giovanni Dal Monte¹, Flora De Natale¹, Chiara Epifani¹, Eleonora Gerardi¹, Stanislao Esposito¹, Antonio Gerardo Pepe¹, Antonella Pontrandolfi¹, Mario Cariello², Matteo Tagliapietra³

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria -Centro Agricoltura e Ambiente

² Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria -Centro Politiche e Bioeconomia

³ Direttore responsabile Pianeta PSR (<http://www.pianetapsr.it>)

* corresponding author barbara.parisse@crea.gov.it

Abstract

Since September 2021, Pianeta PSR, the online magazine of the Italian National Rural Network, hosts a monthly section devoted to the agricultural monitoring of the previous month. The analyses presented are based on a set of agro-meteo-climate indices, which are derived by processing the ERA5 gridded dataset, available in near-real time at the website of the European Copernicus Climate Change Service (C3S). A general table introduces the section, where the indices are aggregated at the country level and for the main geographical districts (NUTS1), while the detailed results are shown on several maps, which represent the distribution of the indices and in most cases also their anomalies. The choice of the indices varies across months, with an additional set of phenological indices for specific crops during the growing season and some further elaborations in particular critical conditions.

Parole chiave

Monitoraggio agrometeorologico, ERA5, indici agroclimatici, indici agrometeorologici

Keywords

Agrometeorological monitoring, ERA5, agro-climate indices, agro-meteorological indices

Introduzione

Le analisi agro-meteo-climatiche a scala nazionale sono richieste come supporto ai decisori per rispondere a precisi indirizzi di politica agricola e ambientale. Da settembre del 2021, nell'ambito della Rete Rurale Nazionale (scheda di progetto “Agrometeore”), il CREA – Agricoltura e Ambiente ha avviato, sulla base dei principali indici agrometeorologici, un monitoraggio mensile, i cui risultati vengono pubblicati periodicamente sulla rivista online “Pianeta PSR”. Grazie alla disponibilità del dataset di rianalisi ERA5, rilasciato in quasi *real-time*, è stato possibile sviluppare una serie di *routine* che consentono di garantire la continuità di questo servizio e di realizzare analisi specifiche per diverse esigenze istituzionali. Nonostante la risoluzione dei dati in *input* sia più adeguata ad analisi a scala nazionale, questo non esclude che alcuni dei risultati possano fornire elementi utili anche a dettaglio regionale.

Materiali e Metodi

La fonte dati utilizzata è il dataset di rianalisi ERA5 (*hourly data on single levels from 1979 to present* <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>), a passo orario e a risoluzione di 0.25°, accessibile tramite il servizio C3S - Climate Change Service (<https://climate.copernicus.eu/>) del programma europeo Copernicus. La rianalisi combina le

previsioni a breve termine con le osservazioni mediante un processo di assimilazione (ECMWF, 2020).

Le attività di acquisizione, pretrattamento ed elaborazione dei dati sono svolte nell'ambito del progetto AgriDigit - sottoprogetto AgroModelli (DM n. 36502 del 20/12/2018), finanziato dal MiPAAF. Uno schema sintetico del flusso dei dati dal servizio C3S al *cloud* del CREA fino all'elaborazione degli indici agrometeorologici è presentato in Figura 1.

I dati orari delle principali variabili meteorologiche (temperatura, precipitazione, temperatura del punto di rugiada, radiazione solare, le due componenti verticale e orizzontale del vento) sono stati aggregati per ottenere serie giornaliere e da queste derivati anche i dati giornalieri di umidità dell'aria minima e massima e di evapotraspirazione secondo l'equazione di Penman-Monteith, adottata in ambito FAO (Allen, 1998).

Gli indicatori sono stati stimati a livello di ogni singola cella della griglia e i risultati sono presentati sotto forma di mappe a scala nazionale.

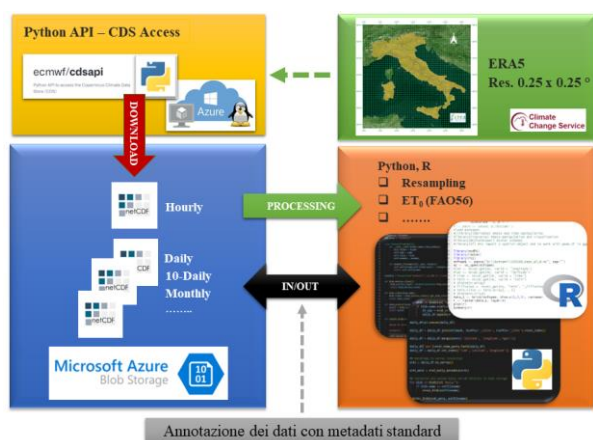


Fig. 1– Flusso dati da Copernicus (C3S) alla stima degli indici agrometeorologici

Fig. 1– Data flow from Copernicus (C3S) to the estimation of agro-meteorological indices

La scelta degli indicatori per il monitoraggio agrometeorologico si è basata sulla ricerca in letteratura di quelli ufficialmente riconosciuti dalla World Meteorological Organization (WMO, 2016 e 2017), dall’Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007 e 2012) e dall’Expert Team on Climate Change Detection and Indices (Klein-Tank et al., 2009). Si è fatto inoltre riferimento ad altri lavori in letteratura svolti per l’Italia a livello nazionale (Mariani et al., 2018; Parisse et al., 2020; Esposito et al., 2015), nonché ai prodotti elaborati e diffusi da alcuni servizi agrometeorologici ed enti regionali.

La scelta degli indici di monitoraggio ha seguito alcuni criteri principali:

- disponibilità di dati per il calcolo;
- validità riconosciuta dalla letteratura scientifica;
- capacità descrittiva delle relazioni tra agricoltura e meteo-clima a livello italiano;
- capacità di evidenziare cambiamenti, come ad esempio le anomalie rispetto ad un periodo di riferimento;
- possibilità di utilizzare soglie locali (e non fissate uniformemente su tutto il territorio nazionale) per la stima degli eventi estremi, in modo da tener conto della variabilità territoriale;
- capacità di descrivere l’evoluzione delle condizioni agrometeo-climatiche nelle diverse fasi della stagione agraria.

In Tabella 1 sono riportati gli indici scelti per il monitoraggio mensile, utili a descrivere sia la situazione attuale che gli andamenti nel tempo, anche in termini di anomalie rispetto al clima.

Il periodo climatico di riferimento scelto per il calcolo delle anomalie è attualmente il 1981-2010 (clima), secondo le indicazioni della WMO.

Lo schema degli indicatori varia in relazione alla stagione agraria, poiché alcuni di questi sono significativi solo per determinati periodi (ad esempio, le gelate tardive si

riferiscono solo ai mesi di marzo e aprile, quando le colture sono in fasi fenologiche particolarmente sensibili).

Alcuni indicatori sono specifici per gli eventi meteorologici estremi che possono potenzialmente danneggiare produzioni agricole e strutture aziendali. I rischi meteorologici possono essere molto diversi in base alla natura e alla frequenza stagionale degli eventi, derivare da tutti i fenomeni meteorologici e influenzare direttamente e indirettamente le condizioni di crescita delle colture.

Tab.1 – Indici di monitoraggio agrometeorologico calcolati mensilmente. Il periodo di riferimento climatico è 1981-2010. * Gli indici sono presentati anche sotto forma di anomalie

Tab.1 – Monthly indices of agro-meteorological monitoring. The reference period is 1981-2010. * The indices are also presented in the form of anomalies

	Indice	Unità di misura	Descrizione
Temperatura	Anomalie di temperatura massima	°C	differenza in °C tra il valore medio del mese e quello rispettivo del riferimento climatico
	Anomalie di temperatura minima	°C	differenza in °C tra il valore medio del mese e quello rispettivo del riferimento climatico
	Temperatura minima estrema	%	numero di giorni del mese in cui la temperatura minima è superiore al 90° percentile della distribuzione climatica del giorno
	Temperatura massima estrema	%	numero di giorni del mese in cui la temperatura massima è superiore al 90° percentile della distribuzione climatica del giorno
	Sommatorie termiche cumulate*	°C	sommatorie termiche cumulate calcolate dal mese di gennaio di ogni anno con soglie di temperatura base (T _b) pari a 0°C e 10°C
	Gelate tardive*	giorni	numero di giorni del mese con temperatura minima = <0 °C (calcolato per marzo e aprile)
Precipitazione	Precipitazione cumulata	mm	precipitazione in mm cumulata nel mese
	Scarto della precipitazione	%	anomalia di precipitazione, espressa come percentuale del valore di riferimento
	Giorno più piovoso	mm	rappresenta la precipitazione, espressa in mm, del giorno più piovoso del mese
Temperatura e precipitazione	Evapotraspirazione di riferimento*	mm	quantità di acqua perduta dal terreno per effetto congiunto dell’evaporazione diretta e della traspirazione delle piante, per unità di superficie per unità di tempo (riferita a un prato di erba medica in condizioni ottimali)
	Bilancio Idro-Climatico*	mm	differenza tra le precipitazioni e l’evapotraspirazione di riferimento
	Standardized Precipitation	-	indice di siccità derivato dal confronto tra i valori di bilancio idro-climatico registrati e il loro andamento mostrato in tutta la serie storica disponibile (calcolato a passo di 6 mesi e 3 mesi)
	Evapotraspiration Index	-	
Focus su colture	Indice eliotermico di Huglin*	°C	si basa sul calcolo di una particolare sommatoria termica (T _b 10°C) che tiene conto della temperatura massima (TX) e della latitudine, nel periodo aprile-settembre
	Fasi fenologiche della vite	BBCH	stima delle fasi fenologiche raggiunte da <i>Vitis vinifera</i> (Chardonnay e Cabernet-Sauvignon cvv.)
	Fasi fenologiche dell’olivo	BBCH	stima delle fasi fenologiche raggiunte da <i>Olea europaea</i>
	Fasi fenologiche della robinia	BBCH	stima delle fasi fenologiche raggiunte da <i>Robinia pseudoacacia</i>

Il report segue una struttura definita con:

- una breve introduzione;
- il paragrafo “Agrometeo in cifre” dove vengono pubblicati i valori mensili dei principali indici aggregati a livello nazionale e di macroaree (Nord, Centro, Mezzogiorno);
- un ampio paragrafo che, partendo da un inquadramento sintetico a livello internazionale e nazionale, descrive nel dettaglio i risultati delle elaborazioni sui vari indici, corredati da mappe e dalle stime più significative, aggregate su scala regionale;
- uno o più paragrafi di approfondimento (“Focus”) che integrano l’articolo di volta in volta in relazione all’avanzamento della stagione vegetativa o al verificarsi di particolari criticità. Durante la stagione vegetativa, l’analisi mensile include la redazione di mappe fenologiche (pubblicate anche nel bollettino fenologico IPHEN <https://www.reterurale.it/bollettinofeno>), secondo la scala BBCH (Meier, 2001). Queste mappe sono generate da modelli fenologici e corrette con i dati rilevati in campo dai rilevatori IPHEN (Mariani et al., 2013).

Risultati e discussione

Dal mese di settembre 2021, la rubrica “L’andamento agrometeorologico di...” viene pubblicata regolarmente, con cadenza mensile, sul sito di Pianeta PSR (<http://www.pianetapsr.it>) ed è accessibile nella sezione “il mensile in un click” (Fig. 2). L’articolo riporta ogni volta i risultati dell’analisi condotta per il mese precedente ed è visibile online entro la fine del mese.



Fig. 2 – Pagina web di accesso alla rivista “Pianeta PSR”
Fig. 2 – Webpage of the “Pianeta PSR” magazine

Il numero di visualizzazioni finora registrate è illustrato in Figura 3. Si può notare una certa tendenza alla crescita del numero di accessi.



Fig. 3– Numero di visualizzazioni mensili relative alla rubrica agrometeorologica di “Pianeta PSR”, a partire dal primo mese di pubblicazione

Fig. 3– Number of visualizations on the monthly agrometeorological section of the online magazine “Pianeta PSR”, from the beginning of the publication

Di seguito si riportano alcuni esempi significativi dei prodotti presentati negli articoli finora pubblicati.

La Figura 4 mostra un esempio di mappa delle anomalie di evapotraspirazione di riferimento (etPM) relativo al mese di febbraio 2022 (numero 111 della rivista). L’immagine mostra una situazione piuttosto critica, soprattutto se si osserva l’area del nord-ovest, dove alle notevoli anomalie termiche si è associato anche l’effetto dei venti di favonio (caldi e secchi) che ha favorito il fenomeno evapotraspirativo, nonostante la stagione vegetativa fosse solo agli inizi.

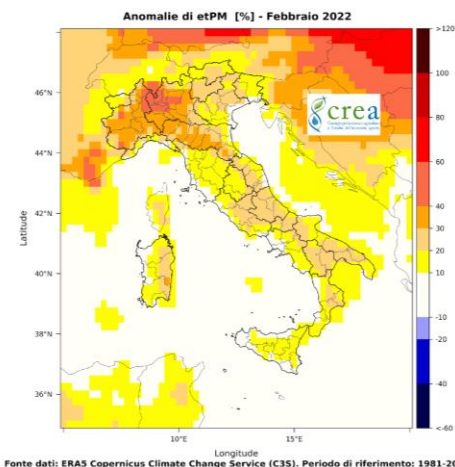


Fig. 4 – Mappa delle anomalie di evapotraspirazione del mese di febbraio 2022

Fig. 4 – Map of the evapotranspiration anomalies of February 2022

In Figura 5 si riportano le mappe dell'indice di siccità SPEI (Vicente-Serrano 2010) calcolato a passo 6 mesi (particolarmente adatto per rilevare la siccità in agricoltura perché considera l'accumulo di riserve idriche disponibili per le colture) e 3 mesi (a breve termine) per il mese di aprile 2022 (numero 113 della rivista). La prima mappa ha evidenziato le notevoli criticità verificatesi nel nord-ovest, dove una vasta porzione del territorio ricadeva nella classe di siccità severa (valore compreso tra -1.5 e -2). La mappa a sinistra mostra che, considerando un orizzonte temporale più ristretto (3 mesi), la situazione si presentava critica in gran parte dell'Italia, con condizioni di siccità severa non solo al nord, ma anche nel centro Italia (Lazio, Abruzzo e zone limitrofe).

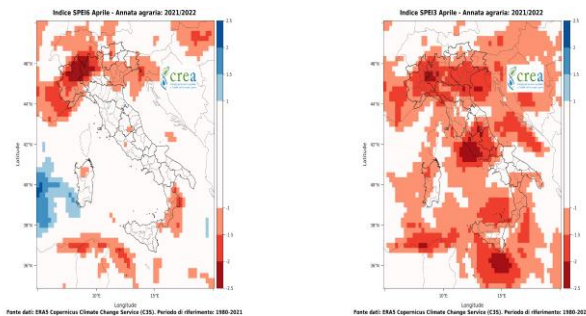


Fig. 5 – Mappe di SPEI6 e SPEI3 del mese di aprile 2022
 Fig. 5 – Maps of SPEI6 and SPEI3 of April 2022

La Figura 6 presenta la mappa del giorno più piovoso (rx1day) del mese di novembre 2021 (numero 108 della rivista), nel corso del quale si erano verificati alcuni eventi precipitativi rilevanti soprattutto nel centro-sud e in Sardegna. I valori massimi osservati di precipitazione giornaliera superano di gran lunga la soglia di 20 mm, che in genere viene associata a potenziali danni in agricoltura, alle colture e alle infrastrutture.

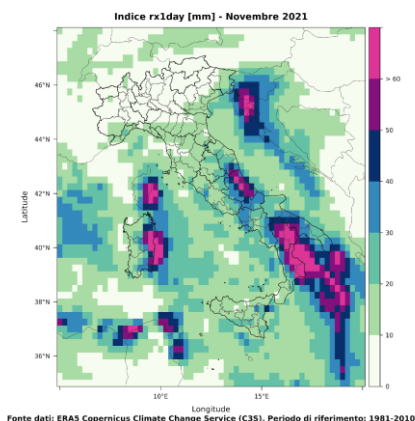


Fig. 6 – Mappa del giorno più piovoso del mese di novembre 2021
 Fig. 6 – Map of the monthly maximum 1-day precipitation of November 2021

Passando ai prodotti pubblicati nelle sezioni di approfondimento (Focus vite), in figura 7 si riporta la mappa delle anomalie dell'indice di Huglin (Huglin 1978) del mese di settembre 2021 (numero 106 della rivista). Si osservavano diffuse anomalie positive, particolarmente rilevanti in Sardegna e Puglia e, localmente, anche in Basilicata, Marche e Piemonte.

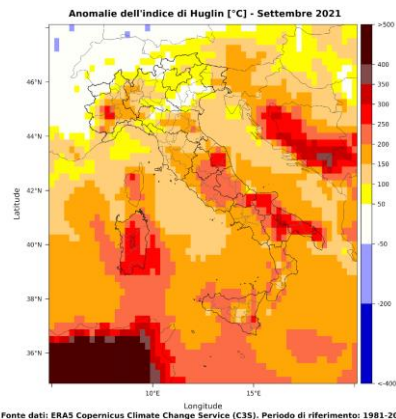


Fig. 7 – Mappa delle anomalie dell'indice di Huglin del mese di settembre 2021
 Fig. 7 – Map of the anomalies of the Huglin index of September 2021

In Figura 8 sono rappresentate le mappe fenologiche di due cultivar della vite (Chardonnay e Cabernet-Sauvignon) del mese di agosto 2021 (numero 105 della rivista). A fine agosto 2021 per la varietà Chardonnay (più precoce) in tutto il territorio era in corso la maturazione dei grappoli (fase principale 8), che erano prossimi alla maturazione di raccolta (BBCH89) in Pianura padana, Sicilia, Sardegna e ampie zone del centro-sud. Per il Cabernet-Sauvignon (più tardiva) la maturazione di raccolta era stata raggiunta in aree più limitate, nel delta del Po, in Sicilia, Sardegna e nelle zone costiere centro-meridionali.

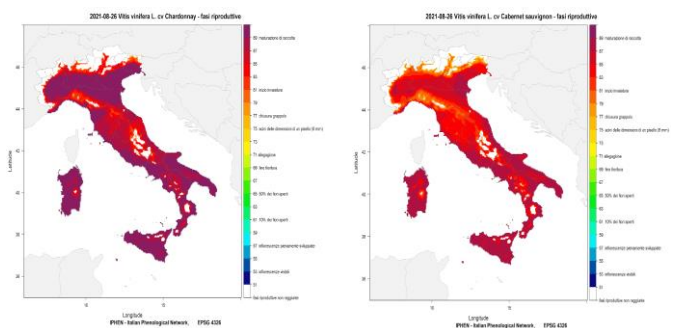


Fig. 8 – Mappe fenologiche della vite (Chardonnay e Cabernet-Sauvignon cvv.) del mese di agosto 2021
 Fig. 8 – Phenological maps of grape (Chardonnay and Cabernet-Sauvignon cvv.) of August 2021

Una sezione di approfondimento particolare ha riguardato le condizioni critiche di siccità verificatesi nel nord-ovest, per le quali è stata presentata un'analisi di dettaglio relativa al mese di marzo 2022 (numero 112 della rivista).

La Figura 9 riporta i grafici di precipitazione ed evapotraspirazione, cumulata su base decadale, della stagione agraria 2021-2022, aggiornati al mese di marzo, in relazione alle rispettive curve dell'andamento climatico e a quelle di tutte le annate considerate. Per questa analisi è stato scelto come periodo di riferimento il trentennio più recente 1991-2020.

Il confronto della curva della precipitazione cumulata rispetto ai dati storici, che mostra valori prossimi al 10° percentile, ha messo in evidenza la straordinarietà della situazione verificatesi, aggravata dall'andamento dell'evapotraspirazione, che si collocava al di sopra del 90° percentile.

Conclusioni

Da settembre del 2021, nell'ambito della Rete Rurale Nazionale (scheda di progetto "Agrometeore"), il CREA-Agricoltura e Ambiente ha avviato, sulla base dei principali indici agrometeorologici, un monitoraggio mensile, i cui risultati vengono pubblicati periodicamente sulla rivista online "Pianeta PSR".

Gli esempi di elaborazioni mostrati evidenziano come il dataset di rianalisi ERA5 offra la possibilità di monitorare molteplici aspetti dell'andamento agrometeorologico a livello nazionale e sub-nazionale, grazie alla risoluzione compatibile con queste scale, alla ricchezza di variabili stimate e alla disponibilità dei dati in quasi *real-time*. Questi risultati potranno essere ulteriormente migliorati con l'applicazione di tecniche di correzione del *bias* che utilizzano serie accurate di dati osservati puntuali (stazione). Buone prospettive potranno derivare anche dal rilascio più tempestivo di dati a migliore risoluzione spaziale, a partire dal dataset ERA5-Land (0.1°), che attualmente viene pubblicato con un ritardo di 2-3 mesi.

Entrambi questi dataset di rianalisi (ERA5 e ERA5-Land) svolgono e potranno svolgere in futuro un ruolo sempre più importante per la produzione di statistiche nazionali nel settore dell'agrometeorologia anche nell'ambito del Piano Statistico Nazionale (PSN), anche.

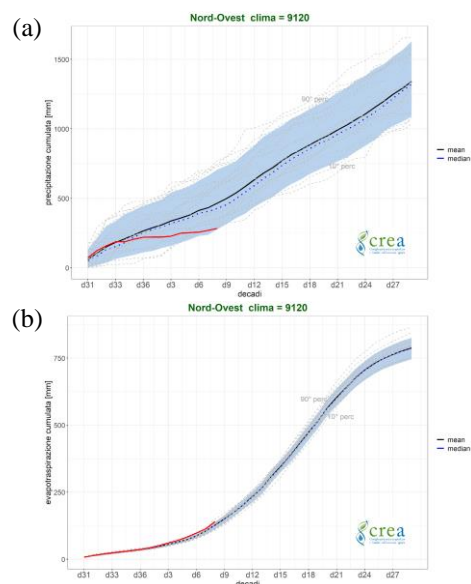


Fig. 9 – Precipitazione (a) ed evapotraspirazione (b) decadalmente cumulata nel Nord-Ovest dal 1° novembre 2021 al 31 marzo 2022 (in rosso) a confronto con i dati climatici (periodo di riferimento 1991-2020). In grigio le curve delle annate agrarie dal 2000-2001 al 2020-2021.

Fig. 9 – 10-daily precipitation (a) and evapotranspiration (b) in the North-West accumulated from November 1st 2021 to March 31st 2022 (in red) compared to the climatic means (reference period: 1991-2020). The curves of all agricultural years from 2000-2001 to 2020-2021 are shown in gray.

Bibliografia

- Allen R.G., Pereira R.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Roma Italy, 300 pp.
- ECMWF, 2020. ECMWF-fact-sheet-reanalysis: 2 pp. <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/medialibrary/2020-06/ecmwf-fact-sheet-reanalysis.pdf>
- Espósito S., Beltrano M.C., De Natale F., Di Giuseppe E., Iafra L., Libertà A., Parris B., Scaglione M., 2015. Atlante italiano del clima e dei cambiamenti climatici. Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria. Unità di ricerca per la climatologia e la meteorologia applicate all'agricoltura. Roma, pp. 264 ISBN 978-88-97081-80-7.
- Huglin P., 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermique d'un milieu viti-cole. C. R. Académie d'Agriculture (Acad. Agric.), 1117-1126.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Geneva.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report

- of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [(eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- Klein-Tank A.M.G., Zwiers F.W., Zhang X., 2009. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. Rep WCDMP-No. 72, WMO-TD no. 1500, World Meteorological Organization, Geneva, 55 pp. https://www.ecad.eu/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1.pdf
- Mariani L., Alilla R., Cola G., Dal Monte G., Epifani C., Puppi G., Failla O., 2013. IPHEN a real time network for phenological monitoring and modelling in Italy. *IJBiom* 57: 881-893 <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0615-x>
- Mariani S., Braca G., Romano E., Lastoria B., Bussetini M., 2018. Linee Guida sugli Indicatori di Siccità e Scarsità Idrica da utilizzare nelle attività degli Osservatori Permanenti per gli Utilizzi Idrici - Stato Attuale e Prospettive Future. ISPRA. https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/Osservatori/Linee%20Guida%20Pubblicazione%20Finale%20L6WP1_con%20copertina_ec.pdf
- Meier, U. 2001. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. *BBCH Monograph*, 2nd edition. Federal Biological Research Centre of Agriculture, Germany, pp. 158.
- Parisse B., Pontrandolfi A., Epifani C., Alilla R., De Natale F. (2020). An agrometeorological analysis of weather extremes supporting decisions for the agricultural policies in Italy. *Italian Journal of Agrometeorology* (3): 15-30. <https://doi.org/10.13128/ijam-790>
- Vicente-Serrano S.M., Begueria S., Lopez-Moreno J.I., 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J. Climate*. 23: 1696-1718 <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- WMO World Meteorological Organization and GWP Global Water Partnership, 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. ISBN: 978-92-63-11173-9.
- WMO World Meteorological Organization, 2017. WMO Guidelines on the calculation of climate normals. WMO-No. 1203. ISBN: 978-92-63-11203-3 https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166

STUDIO DELLE GELATE TARDIVE NELL'AREA DEL METAPONTINO

STUDY OF LATE FROSTS IN THE METAPONTO PLAIN

Emanuele Scalcione^{1*}, Pietro Dichio¹, Giuseppe Fabrizio¹, Jacopo Liotti², Giovanni Lacertosa¹

¹ALSIA, Agenzia Lucana di Sviluppo ed Innovazione in Agricoltura, SS 106 Km 448.2, 75010 Metaponto (MT)

²CNR - Istituto di Protezione Sostenibile delle Piante, SS 106 Km 448.2, 75010 Metaponto (MT)

*corresponding author emanuele.scalcione@alsia.it

Abstract

The knowledge of the orographic characteristics of a territory and the energy exchanges between the soil and the atmosphere are the factors most responsible for radiative frosts, particularly dangerous in spring, when the vulnerability of tree crops is maximum, often in the flowering and / or fruit set phase. Twenty-two years data were analyzed, for the months of February, March and April, of the hourly and daily temperature of thirteen agro-meteorological stations located in the Metaponto plain, with different altitudes and orographic positions. The results made it possible to identify the areas in which there is the greatest probability of damage to fruit and vegetable crops, ie those located mainly in the valley bottoms and further away from the coast.

Keywords

Climatic change, sum cold hours, GIS

Parole chiave

Cambiamento climatico, somma ore di freddo, GIS

Introduzione

Le gelate tardive rappresentano in orti-frutticoltura una delle principali calamità naturali con rilevanti impatti sull'economia e sulla produttività aziendale. Tuttavia, la vulnerabilità delle colture è molto legata alle caratteristiche genetiche della specie e della varietà, ma anche alla fase fenologica e alle pratiche agronomiche e colturali. Lo stadio fenologico è il fattore che realmente può essere determinante per una maggiore o minore vulnerabilità alle gelate, poiché quando la pianta esce dal riposo invernale, l'idratazione dei tessuti collegata al risveglio vegetativo fa sì che la sua sensibilità alle basse temperature divenga enormemente più elevata. La conoscenza delle caratteristiche orografiche di un territorio e la collocazione spaziale della coltura giocano un ruolo molto importante sugli scambi di energia tra il suolo e l'atmosfera, che sono i fattori maggiormente responsabili delle gelate radiative.

Le gelate tardive che interessano le più importanti aree frutticole italiane, compresa l'area del Metapontino, sono prevalentemente di tipo radiativo, provocando perdite di calore per irraggiamento (Zinoni et al., 2005). Questa tipologia presenta una elevata variabilità sul territorio, ma con una struttura relativamente costante nel tempo, che permette di definire le aree più sensibili a questo fenomeno. Il riscaldamento globale sta determinando un generale aumento delle temperature, con inverni sempre più miti e con gelate tardive meno frequenti rispetto a qualche decennio fa ma, paradossalmente, più dannose poiché, sempre più spesso, trovano una vegetazione più esposta ai pericoli di un improvviso ritorno del freddo intenso (Antolini et al., 2021; Giuliacci, 2021).

Oltre al descrivere il rischio climatico di una determinata zona, sempre più spesso sono richiesti servizi di previsione ed allerta dell'evento gelivo in una scala di dettaglio territoriale sempre più precisa e puntiforme, per meglio

attivare gli opportuni sistemi di difesa sia attiva che passiva (Dalla Nora et al., 2008).

Scopo dello studio è di analizzare i dati climatici della zona della pianura del Metapontino, anche attraverso l'analisi spaziale e l'interpolazione dei dati, al fine di individuare e caratterizzare le aree con maggiore incidenza di eventi gelivi, in funzione delle caratteristiche orografiche ed altimetriche.

Materiali e Metodi

Lo studio è stato effettuato utilizzando i dati di temperatura oraria di 13 stazioni del Servizio Agrometeorologico Lucano (S.A.L.) della pianura del Metapontino (vedi Tab.1), dal 2000 al 2022, per il periodo febbraio-aprile. Le stazioni si distinguono per diverse altimetrie, distanza dalla linea di costa marina ed orografia. I dati sono stati sottoposti ai normali controlli di consistenza interna e temporale prima di essere utilizzati per i calcoli successivi. L'elaborazione ha permesso di calcolare, per ciascuna stazione, il numero di giornate fredde, la somma cumulata oraria e la durata dell'evento per tre diverse soglie (inferiore a 0°C, -2°C e -3°C). In particolare la durata dell'evento estremo è stato calcolato dividendo per ciascuna soglia la somma cumulata oraria per il numero di giornate fredde. Per la produzione cartografica è stato utilizzato il programma open source QGIS 3.22 col quale è stata eseguita l'interpolazione delle informazioni, grazie al metodo della Distanza Inversa Ponderata, corrispondente alla funzione IDW fornita dal programma nella quale, i punti campione sono pesati in modo che l'influenza di ciascun punto diminuisca in base alla distanza dal punto sconosciuto che si vuole determinare (QGIS).

Risultati e Discussione

Nella Tab. 2 si riportano i parametri climatici medi di temperatura e numero di giornate fredde per tre diverse soglie di temperatura (inferiore a 0°C, -2°C e -3°C), calcolati, per il periodo dal 2000 al 2022, da febbraio ad aprile, ossia i mesi più rilevanti nel determinare eventuali danni da gelate tardive.

Tab.1 – Caratteristiche geografiche delle stazioni meteo

Tab.1 - Geographical characteristics of the meteorological stations

Denominazione Stazione	ID	Altimetria slm (m)	Orografia	Distanza dal mare (km)
Policoro Sottano	PUN	10	Pianoro	4
Metaponto Pantanello	PAN	24	Pianoro	5
Montescaglioso Fiumic.	MTS	45	Fondo valle	15
Pisticci scalo	PSC	52	Fondo valle	22
Montalbano S. Donato	TSD	59	Fondo valle	18
Bernalda Serramarina	BER	68	Pianoro	10
Policoro c.da Troyli	PTR	117	Pianoro	9
Nova Siri – Conte	NSI	152	Pianoro	6
Montalbano - Cozzo	MTB	154	Pianoro	12
Aliano - Baderta	ALI	178	Fondo valle	34
Pisticci - Castelluccio	PCS	192	Pianoro	16
Senise - Industriale	SEN	270	Fondo valle	26
S. Giorgio L. - Rose	SGL	455	Pianoro	23

Le stazioni ALI, SEN ed MTS presentano i valori di temperatura minima assoluta più bassi (compresi fra -8,6 e -8,0°C) e il maggior numero di giornate fredde (comprese fra 21,6 e 9,2 giornate con temperature <0°C). Mentre le stazioni NSI, PAN, PCS e BER si distinguono per valori di temperatura minima assoluta più elevati (compresi fra -2,1 e -3,6°C) ed un minor numero di giornate fredde (comprese fra 0,7 e 3,6 giornate con temperature <0°C). Considerando il numero di giornate fredde con temperature <-3°C ALI si conferma la località con il maggior numero di eventi estremi, pari a 6,2. All'opposto nessun evento estremo, con temperature <-3°C, è stato rilevato per i siti NSI, PAN e BER nei ventidue anni analizzati.

Tab.2 - Parametri climatici medi di temperatura e giornate fredde da febbraio ad aprile, periodo 2000-2022

Tab.2 - Average climate parameters of temperature and cold days from February to April, period 2000-2022

ID	Temperatura (°C)		Giornate fredde (n)		
	Min_assoluta	Media	<0°C	<-2°C	<-3°C
PUN	-4,8	11,3	6,5	1,4	0,8
PAN	-3,1	11,7	3,6	0,8	0,0
MTS	-8,0	10,7	9,2	2,5	1,0
PSC	-4,8	11,0	9,0	2,1	1,0
TSD	-5,2	11,5	6,7	1,5	0,5
BER	-3,6	11,2	2,9	0,6	0,0
PTR	-3,7	11,7	1,1	0,1	0,1
NSI	-2,1	12,1	0,7	0,0	0,0
MTB	-5,6	10,7	3,2	0,6	0,2
ALI	-8,6	9,9	21,6	11,1	6,2
PCS	-3,5	10,7	3,3	0,5	0,1
SEN	-8,6	10,3	9,3	2,7	1,5
SGL	-5,7	9,4	8,9	2,5	1,0

In Tab. 3 si riporta la somma cumulata oraria e la durata dell'evento estremo per le soglie di temperatura considerate (inferiore a 0°C, -2°C e -3°C), riferiti sempre al periodo 2000-2022, da febbraio ad aprile.

I siti ALI, SEN ed MTS presentano sia la sommatoria di ore fredde più elevata (compresa fra 72,7 e 12,9 ore con temperature <-2°C), sia la maggior durata dell'evento (compresa fra 6,5 e 4,8 ore con temperature <-2°C).

All'opposto il sito NSI si distingue per i valori più bassi sia di sommatoria di ore fredde sia di durata dell'evento, indicando una località con un ridottissimo rischio di gelate tardive.

Tab.3 - Parametri climatici medi da febbraio ad aprile, dall'anno 2000 al 2022

Tab.3 - Average climate parameters from February to April, 2000 to 2022

ID	Sommatoria di ore fredde			Durata dell'evento (ore)		
	<0°C	<-2°C	<-3°C	<0°C	<-2°C	<-3°C
PUN	31,6	5,2	1,2	4,9	3,7	1,6
PAN	17,0	1,0	0,0	4,7	1,2	0,1
MTS	50,3	8,6	2,8	5,5	3,4	2,6
PSC	58,1	9,2	2,4	6,5	4,4	2,3
TSD	38,9	5,3	1,6	5,8	3,5	3,0
BER	16,0	0,9	0,1	5,5	1,6	1,6
PTR	5,5	0,5	0,1	5,0	3,5	0,7
NSI	2,7	0,0	0,0	3,7	0,1	0,0
MTB	20,5	2,8	1,0	6,5	4,7	5,3
ALI	265,9	72,7	30,7	12,3	6,5	4,9
PCS	17,0	1,1	0,1	5,1	2,3	1,5
SEN	71,6	12,9	4,7	7,7	4,8	3,2
SGL	79,8	13,1	4,1	9,0	5,3	3,9

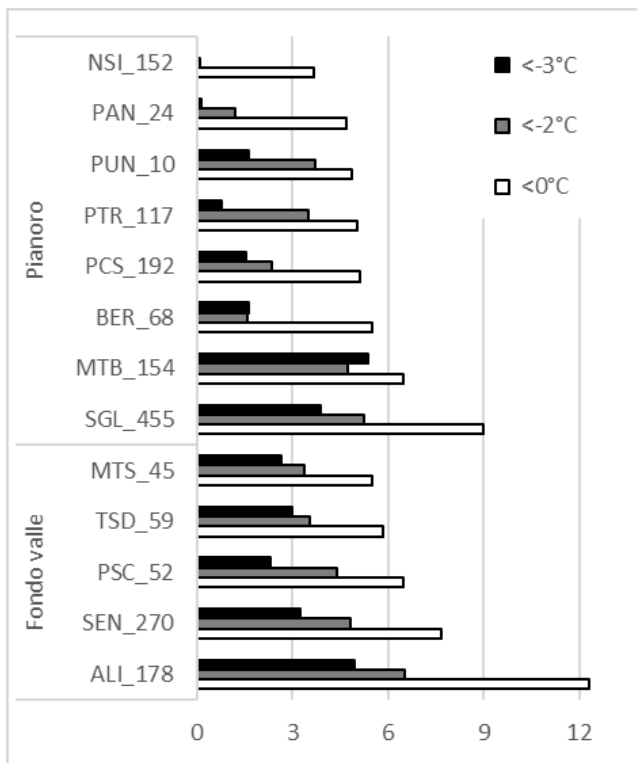


Fig.1 - Durata media in ore degli eventi freddi per orografia ed altitudine

Fig.1 - Average duration in hours of cold events for altitude and orography

In Fig. 1 si riporta il grafico della durata media in ore degli eventi freddi suddivisa per orografia ed altitudine per le soglie considerate. I siti identificati orograficamente in pianoro, ossia quelli posizionati in aree più esposte alla ventosità, mostrano una durata ridotta di eventi gelivi estremi; al contrario, le stazioni di fondo valle presentano una durata maggiore. È probabile che, la maggiore presenza di ventilazione notturna sui pianori, mantenga le temperature tendenzialmente più alte. Inoltre, per entrambe le suddivisioni orografiche, l'altimetria non incide in maniera sostanziale. Tuttavia, la durata degli eventi estremi aumenta con l'altitudine, come nel caso della stazione SGL, posizionata su un pianoro a 455 m slm.

Infine, la cartografia elaborata (Fig. 2) interpola spazialmente la durata degli eventi freddi con temperature inferiori a -2°C . Si evince che le zone con il minor rischio di eventi di gelata prolungati sono le zone limitrofe alle stazioni NSI e PAN. Al contrario la stazione col maggior rischio è ALI. Dalla mappa si intuisce che durante il periodo analizzato (febbraio - aprile) le zone costiere tendenzialmente subiscono in modo ridotto le gelate la cui durata aumenta con la quota, in vicinanza di corsi d'acqua e spostandosi nell'entroterra.

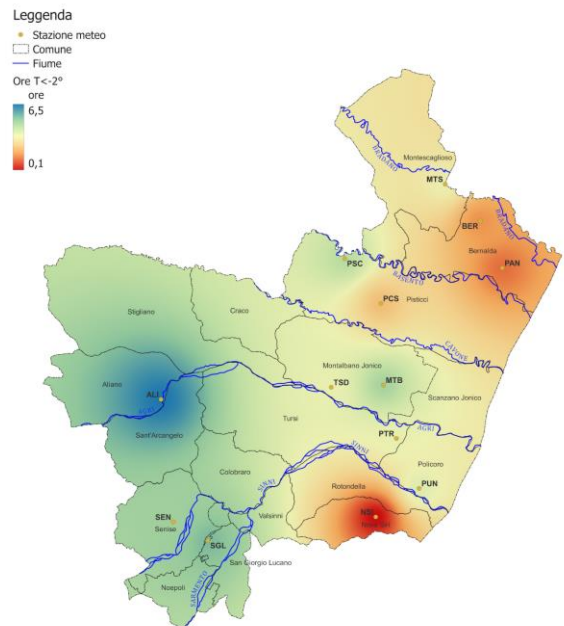


Fig.2 – Cartografia della durata in ore degli eventi freddi con $T_{min} < -2^{\circ}\text{C}$

Fig.2 - Cold event duration mapping in hours with $T_{min} < -2^{\circ}\text{C}$

Conclusioni

I risultati hanno permesso di individuare le aree potenzialmente più esposte a fenomeni prolungati di gelate e, di conseguenza, quelle dove tali fenomeni possono causare più danni alle colture. Dallo studio emerge che le aree più esposte sono quelle posizionate nei fondo valle e più distanti dalla linea di costa.

Questo lavoro si colloca tra le attività dell'Agenzia implementando i servizi offerti al settore agricolo regionale per supportare i tecnici e gli imprenditori nelle loro scelte e nella futura attivazione di un servizio di previsione e allerta degli eventi gelivi.

Bibliografia

- Antolini G., Pavan V., Pratzzoli W. e Villani G., 2021. Evoluzione del rischio gelate tardive in Emilia-Romagna Atti XXIII: 69-71
- Dalla Nora S., Eccel E., De Franceschi M., Ghielmi L., Zardi D., 2008. La previsione delle temperature minime in tempo reale: dai modelli tradizionali ai nuovi approcci real-time. Ital. Jour. of Agrom. (3): 24-37
- Giuliaci A., 2021. Cambiamento climatico: l'Italia sarà più calda e seccata; L'Informatore Agrario n 7: 52-54
- QGIS. Online user manual, <https://docs.qgis.org/2.8/it/docs/index.html>
- Zinoni F., Antolini G., Palara U., Rossi F. e Reggiori G., 2005. Aspetti fisici ed ecofisiologici nella previsione e difesa delle piante da frutto dalle gelate tardive. Italus Hortus 12 (4): 63-78