



Atti del XXV Convegno Nazionale di Agrometeorologia

L'Agrometeorologia per la gestione delle risorse e delle limitazioni ambientali in agricoltura

MATERA, 14 -16 Giugno 2023

A cura di Francesca Ventura, Gabriele Cola, Francesca Di Cesare

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari

Università di Bologna



ISBN 9788854971127

DOI 10.6092/unibo/amsacta/7302

Comitato Scientifico

Francesca Ventura

Gabriele Cola

Filiberto Altobelli

Anna Dalla Marta

Chiara Epifani

Federica Rossi

Emanuele Scalcione

Danilo Tognetti

Comitato organizzatore

Emanuele Scalcione

Segreteria Organizzativa

Simone Falzoi

Tiziana La Iacona

Irene Vercellino

Bologna, 2023



XXV Convegno Nazionale di Agrometeorologia

**L'Agrometeorologia per la
gestione delle risorse e delle
limitazioni ambientali in
agricoltura**

MATERA, 14 -16 Giugno 2023

A cura di Francesca Ventura, Gabriele Cola, Francesca Di Cesare

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari

Università di Bologna



L'Agrometeorologia per la gestione delle risorse e delle limitazioni ambientali in agricoltura

SESSIONE 1 - La gestione degli stress abiotici

Analisi di alcune variabili climatiche nel periodo 1951-2022 in ambiente mediterraneo ed implicazioni per le coltivazioni arboree <i>Montanaro G., Scalcione E., Carlomagno A., Nuzzo V.</i>	1
Applicazione di un modello completo di infiltrazione per esperimenti ad anello singolo: valutazione della variabilità temporale della conducibilità idraulica satura e delle proprietà fisiche del suolo gestito con lavorazione minima e non lavorazione <i>Castellini M.</i>	5
Effetto dell'andamento climatico sull'accumulo di miele di acacia e castagno in Italia <i>Messeri A., Arcidiaco L., Evangelista B., Djialeu Tiako D., Orlandini S., Messeri G., Mancini M.</i>	8
Consumi delle scorte di miele e andamento meteorologico della stagione invernale: prime osservazioni in un apiario del Mugello <i>Mancini M., Arcidiaco L., Evangelista B., Djialeu Tiako D., Orlandini S., Sabatini F., Dalla Marta A., Messeri A.</i>	12
Irrigazione del mais: rainger e rotolone a confronto <i>Gaetano Roberto Pesce G. P., Cestaro L., Borin M., Maucieri C.</i>	16
Effect of drought stress on aromatic plants from Lamiaceae family <i>D'Andrea L.</i>	21
The effect of water stress on canopy resistance of olive orchard at the sub daily time scale <i>Bruno M. R., Ferrara R. M., Piarulli M., De Carolis G., Campi P., Modugno A. F., Gaeta L., Rana G.</i>	26
Impact of vermicompost addition on water availability of different textured soils <i>Castellini M., Bondi C., Preite A., Giglio L., Iovino M.</i>	31
Improve soil water content in a Mediterranean peach orchard with the application of mixed composed amendments <i>Cappelluti O., Bruno M. R., Ferrara R. M., De Carolis G., Campi P., Modugno F., Liliana Gaeta L., Minorenti V., Rana G.</i>	34
Effects of mulching on water use efficiency of peach orchard under Mediterranean climate <i>De Carolis G., Ferrara R. M., Bruno M. R., Piarulli M., Campi P., Modugno F., Gaeta L., Rana G.</i>	39

Evaluation of agro-climatic variables measured in real-time on the growth of mulched peach (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch) trees in two production years <i>Bruno M. R., Cappelluti O., Ferrara R. M., De Carolis G., Campi P., Modugno F., Gaeta L., Minorenti V., Rana G.</i>	44
Viticultura alpina e cambiamenti climatici: risorse e limitazioni ambientali per la maturazione delle uve in Valtellina. <i>Modina D., Cola G., Bianchi D., Bolognini M., Cappelletti A., Failla O., Foianini I., Mancini S., Brancadoro L.</i>	49
Treat, leak, freeze, repeat: a reliable method to unravel cold hardiness in peach for reducing the odds of late frost yield loss <i>Calastri E., Zaracho N., Boutiti K., Ghezzi G., Cirilli M.</i>	53
Meteo-clima e attività fotosintetica: uno studio esplorativo per il monitoraggio della vulnerabilità climatica <i>Lanfredi M., Coluzzi R., Imbrenda V., Scalcione E.</i>	58

POSTERS

Influence of temperature stress on secondary metabolite formation by medicinal plants <i>D'Andrea L.</i>	63
Applicazione dell'indice di fabbisogno irriguo per la mappatura prossimale e remota di stress idrico nel vigneto <i>De Oliveira A. F., Cossu S., Mameli M. G., Satta D.</i>	67
Influence of microclimatic conditions on vegetative growth and fruit quality of a peach orchard (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch) grown under coloredshading net (ChromatiNet® Red 40%) <i>Bruno M. R., Gaeta L., Campi P., Cappelluti O., De Carolis G., Modugno F., Rana G., Ferrara R.</i>	72
Micro-irrigazione della soia in un contesto di cambiamento climatico <i>Maucieri C., Toffanin A., Rossi G., Paulon G., Borin M.</i>	77
Irrigazione deficitaria del pomodoro da industria nell'areale veneto: primi risultati <i>Morbidini F., Locatelli S., Shrestha J., Nicoletto C., Maucieri C.</i>	82

SESSIONE 2 - Gli strumenti agrometeorologici al servizio delle politiche di sviluppo agricolo

Metodologie per il monitoraggio fenologico in Italia: una indagine preliminare presso i servizi ed enti regionali <i>Carbonari F., Epifani C., Pontrandolfi A.</i>	87
Multi-year verification of the UTOPIA-IVINE modeling chain for the vineyard's management in the Piedmont area <i>Cassardo C., Andreoli V., Barbarino S., Cremonini R., La Iacona T., Loglisci N., Manfrin M., Rossato L., Spanna F.</i>	92
Scambi di flussi di CO ₂ e H ₂ O tra atmosfera e colture ortive: il caso del pomodoro <i>Nardino M., Anconelli S., Chieco C., Famulari D., Gentile S.L., Mari M., Solimando D.</i>	96
Developing a software for measuring carbon and water footprint of organic durum wheat cultivation systems: the smart future organic farming (SFOF) project <i>Garofalo P., Parlavecchia M., Giglio L., Campobasso I., Ventrella D.</i>	100
Farmers' perceptions as an useful tool to improve irrigation Advisory service <i>Altobelli F., Donati I. I. M., Viaggi D., Srdjevic Z., Srdjevic B., Di Fonzo A., Del Giudice T., Cimino O., Martelli A., Dalla Marta A.</i>	104
Climate change and clever water use <i>Chiari G., Anconelli S., Genovesi R., Letterio T., Solimando D., Cavazza F., Salvatore Gentile S., Zucaro R.</i>	108

POSTERS

Esigenze irrigue del nocciolo (<i>Corylus avellana</i> L.) Nella regione Abruzzo <i>Di Lena B., Farinelli D., Curci G.</i>	111
Downscaling delle previsioni meteorologiche per applicazioni in agricoltura di precisione <i>Di Paola F., Cimini D., De Natale M., Gallucci D., Gentile S., Genzano N., Geraldini E., Larosa S., Nilo S. T., Ricciardelli E., Romano F., Tramutoli V.</i>	116
Variatione di albedo dovuta al cambio di destino di uso del suolo e suoi effetti in termini di forcing radiativo e di contributo al cambiamento climatico <i>Giorgione V., Volta A., Alessandrini C.</i>	121

SESSIONE 3 - Previsione e gestione delle avversità in agricoltura

Previsioni agrometeorologiche a medio termine di supporto all'agricoltura <i>Alilla R., Bellucci G. M., De Natale F., Parisse B., Pepe A. G.</i>	124
MISFITS-GPT: supporto gratuito alla redazione dei bollettini fitosanitari tramite modellistica di simulazione, previsioni agrometeo ed intelligenza artificiale <i>Bregaglio S., MISFIT</i>	129
Servizi ecosistemici a scala di bacino della sostanza organica nel terreno <i>Toffanin A., Maucieri C., Rossi G., Paulon G., Borin M.</i>	134
Predictive bioclimatic model for honey production with tree-based methods <i>Brini A., Fantoni M., Giovannini E., Smaniotto E.</i>	139
Predizione della siccità in Italia Meridionale basata su osservazioni ENSO <i>Arcieri M.</i>	140
Prevedere, a scala stagionale, l'innescò e la persistenza di eventi estremi di siccità: il caso studio del bacino idrografico del Po <i>Di Paola A., Di Giuseppe E., Magno R., Quaresima S., Pasqui M.</i>	145
Cindex: un algoritmo data-driven per la definizione di un indice composito in grado di valutare le interazioni di molteplici fattori di stress climatico sui raccolti <i>Di Paola A., Di Giuseppe E., Pasqui M.</i>	150

ANALISI DI ALCUNE VARIABILI CLIMATICHE NEL PERIODO 1951-2022 IN AMBIENTE MEDITERRANEO ED IMPLICAZIONI PER LE COLTIVAZIONI ARBOREE

ANALYSIS OF SOME WEATHER VARIABLES OF THE 1951-2022 TIME SERIES IN MEDITERRANEAN ENVIRONMENT AND IMPLICATIONS FOR TREE CROPS

Giuseppe Montanaro^{1*}, Emanuele Scalcione², Antonio Carlomagno¹, Vitale Nuzzoi¹

¹ UNIVERSITA' DEGLI STUDEI DELLA BASILICATA – via Lanera, 20, 85100, Matera (MT)

² ALSIA– Agenzia Lucana Sviluppo e Innovazione in Agricoltura, Regione Basilicata, SS 106 Jonica, km 448,200, Metaponto (MT)

*giuseppe.montanaro@unibas.it

Abstract

Agriculture is affected by climate change as a result of the interaction between plant physiology and climatic variables including precipitation and air temperatures. This work reports the analysis of the 1951-2022 time series focusing on air temperature (minimum and maximum) and rainfall recorded in Metaponto (Basilicata Region), an important fruit and vegetable growing area. The analysis also focused the cumulated chilling hours and the climatic anomalies determined with respect to the 30-year average (1961-1991). Results reveal a significant increasing trend of temperatures particularly after 1980, and reducing cumulated chilling hours. Possible adaptation strategies are discussed.

Parole chiave

Fabbisogno in freddo, cambiamento climatico, fenologia, precipitazioni

Keywords

Chilling hours, climate change, phenology, precipitations

Introduzione

L'agricoltura è vulnerabile al tempo meteorologico e all'evoluzione del clima. In particolare, la temperatura dell'aria e le precipitazioni piovose sono variabili atmosferiche estremamente importanti per la pratica agricola a causa del loro effetto sulla praticabilità dei campi e sulla fertilità del suolo, sulle popolazioni di patogeni e insetti, sulla fisiologia della pianta e sulla quantità e qualità della produzione (Lobell and Burke, 2008; Hatfield et al., 2011).

Attualmente, la comunità scientifica è concorde nel ritenere un tendenziale aumento della temperatura dell'aria insieme ad una modifica della periodicità e dell'intensità delle piogge (Jones et al. 2005; Fraga et al. 2013; IPCC 2014).

Nelle piante arboree da frutto, le variazioni della temperatura dell'aria possono influenzare: le esigenze in freddo delle gemme, la lunghezza delle diverse fasi fenologiche, la vitalità del polline e dell'ovario; la dimensione del frutto, la sintesi e l'accumulo nel frutto di zuccheri, acidi organici, composti fenolici, vitamine e composti aromatici (Schultz, 2000; Chmielewski et al., 2004; Keller, 2010; Naulleau et al., 2021). Tali effetti potrebbero essere amplificati in condizioni di eccesso o di carenza idrica (Palliotti et al., 2014; Naulleau et al., 2021).

Negli ultimi 30 anni una pletora di lavori sperimentali sono stati pubblicati sull'impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione frutticola, viti-vinicola ed olivicola (Mosedale, 2016; Roussos, 2020). Per queste colture le principali problematiche legate al cambiamento climatico in atto sono: il soddisfacimento delle esigenze in freddo delle gemme (Fernandez et al., 2023), l'anticipo del ciclo vegetativo e riproduttivo (Caffarra and Eccel, 2011), la

maggiore incidenza di scottature dei frutti (Racsko and Schader, 2012) ed un maggiore rischio di carenza idrica (Medrano et al., 2015).

Questo studio analizza il regime termo-pluviometrico della serie temporale 1951-2022 di Metaponto (Basilicata, MT), un tratto di pianura alluvionale del bacino Mediterraneo, e discute possibili impatti del cambiamento climatico per le piante arboree da frutto e relative azioni di adattamento.

Materiali e Metodi

Lo studio è stato effettuato utilizzando i dati medi giornalieri di temperatura massima (T_{max}, °C), minima (T_{min}, °C) e precipitazioni (mm g⁻¹) della stazione di Metaponto (MT) per l'arco temporale 1951-2022. In particolare, sono stati consultati i dati degli Annali Idrologici (Archivio digitale Protezione Civile della Basilicata) per il periodo 1951-1989 e quelli rilevati dal Servizio Agrometeorologico Lucano dell'Agenzia Lucana Sviluppo e Innovazione in Agricoltura (SAL-ALSIA) dal 1990 al 2022. Ulteriori dati della temperatura media oraria per il periodo 2000-2022 sono stati forniti dal SAL-ALSIA. Le ore in freddo sono state determinate seguendo il metodo Utah (Richardson *et al.*, 1974) considerando la somma delle ore di freddo dei mesi di Novembre e Dicembre dell'anno *i* e quelli di Gennaio, Febbraio e Marzo dell'anno *i+1*. La serie temporale è stata decomposta per l'individuazione del trend usando il pacchetto base del software R (R Core Team, 2021). La presenza di un eventuale trend è stata poi determinata mediante il test di Mann-Kendall con un livello di significatività del 5%. Le anomalie climatiche sono state calcolate come differenza tra il valore della variabile

esaminata e quello “normale” ossia il valore medio del periodo 1961-1990 della stessa variabile. Per le precipitazioni, l’anomalia è stata espressa in % relativamente al valore normale stesso. Per il calcolo del numero dei giorni piovosi, è stata considerata una soglia minima di 0,2 mm di pioggia.

Risultati e Discussione

In questo studio, i valori normali usati per il calcolo delle anomalie sono relativi al periodo 1961-1990, sebbene il trentennio di riferimento dovrebbe essere quello più recente ossia 1991-2020 come da indicazioni della World Meteorological Organization (WMO). Tuttavia, la stessa WMO ritiene valido determinare le anomalie climatiche usando i valori normali calcolati sul periodo più remoto (C3S Bulletin, 2021).

Lo studio rivela che negli ultimi venti anni circa, il valore medio annuale della Tmax e della Tmin è progressivamente incrementato rispettivamente di circa 2°C e 1°C (Figura 1). Tale risultato è confermato dalla presenza di un trend statisticamente significativo (Figura 2). In aggiunta, il trend di lungo periodo ha evidenziato la presenza di un “breakpoint” in corrispondenza degli anni ‘80 in accordo con un’analisi climatica eseguita su scala nazionale (Ispra, 2012). Focalizzando i mesi estivi (da Giugno ad Agosto), l’anomalia della Tmax ha raggiunto negli ultimi anni considerati valori di circa 3,5°C (non mostrato). Gli incrementi termici in questo periodo sono alla base di frequenti fenomeni di scottature dei frutti di melograno (una nuova coltura arborea introdotta su circa 450 ha nell’area di Metaponto, ISTAT, 2022), e riduzione della produzione. Possibili mitigazioni alle anomalie di Tmax, potrebbe essere la scelta di terreni con esposizione prevalente verso Est in modo da abbassare il carico radiativo nelle ore pomeridiane (Naulleau et al., 2011), oppure l’applicazione di prodotti a base di caolino o calcite micronizzata (Racsko and Schader, 2012; Amato et al., 2020).

Un incremento apparentemente minimo della temperatura media, può indurre una serie di variazioni sulla fenologia delle piante. Ad esempio, in uno studio condotto in ambiente mediterraneo, si riporta che un aumento di circa 1-2°C può determinare l’anticipo di circa 7 giorni della fioritura (con conseguente aumento della vulnerabilità alle gelate tardive), il ritardo dell’entrata in senescenza, il complessivo allungamento della stagione vegetativa (Gordo and Sanz, 2010). Tale effetto indurrebbe anche un incremento del fabbisogno irriguo, ancor più accentuato in caso di riduzione delle precipitazioni (Medrano et al., 2015).

Un parametro climatico di rilevante interesse per le coltivazioni arboree è il valore delle ore in freddo cumulate a partire solitamente dal 1° novembre. Studi su scenari climatici futuri evidenziano una riduzione del numero delle ore in freddo. Ad esempio, in California si stima una riduzione di tali ore da circa 1000 attuali a circa 700 nel 2050 (Luedeling et al., 2009). L’inizio dell’accumulo delle

ore in freddo è anche abbinato all’inizio della caduta delle foglie che corrisponde con l’entrata in dormienza delle piante. In Basilicata, la fase di caduta foglie e quindi l’inizio dell’accumulo delle ore in freddo risulta progressivamente più tardivo (fine dicembre) rispetto al canonico 1 novembre a causa delle temperature (alte) di Novembre (Scalcione com. pers.). Infatti, considerando il periodo Novembre-Marzo del periodo esaminato, si nota una riduzione del numero di ore in freddo cumulato (Figura 3).

Il regime pluviometrico annuo ha mostrato una tendenza alla diminuzione fino agli anni ‘80, successivamente ha assunto un trend significativamente crescente ($p < 0.05$) passando da un valore (media mobile 5 anni) di circa 500 mm/anno a circa 612 mm/anno alla fine del periodo esaminato (Figura 4). Il numero dei giorni piovosi per anno risulta in diminuzione nel tempo (Figura 5). Negli ultimi anni esaminati è stato di circa il 30% inferiore a quello degli anni ‘50. Quindi, è plausibile un incremento dell’intensità degli eventi piovosi, che esporrebbe i suoli in pendenza a maggior rischio di erosione, e quelli in pianura a rischi di inondazione, ma questo rimane ancora da esaminare nello specifico.

Conclusioni

Lo studio ha evidenziato che nell’area del Metapontino si registrano dei trend significativi dell’aumento della temperatura (minima e massima) e conseguentemente una riduzione dell’accumulo delle ore in freddo nel canonico periodo Novembre-Marzo. Il regime pluviometrico annuo è in aumento negli ultimi decenni, ma con una riduzione dei giorni piovosi. I dati confermano la necessità del comparto delle coltivazioni arboree di adottare strategie di difesa dall’aumento termico come l’applicazione di reti ombreggianti, trattamenti a base di caolino o calcite micronizzata o altri mezzi che riducono il carico termoradiativo del frutteto.

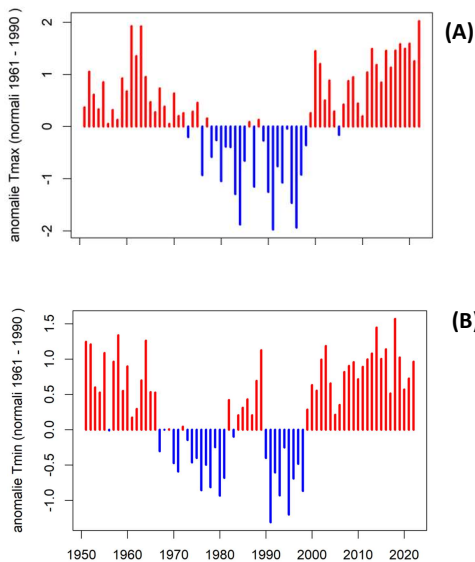


Fig.1 - Andamento delle anomalie del valore medio annuale della temperatura massima (A) e minima (B) rispetto a quello del periodo del 1961-1990.
 Fig.1 - Anomalies of the (A) maximum and (B) mean annual air temperature determined against the 1961-1990 normal values.

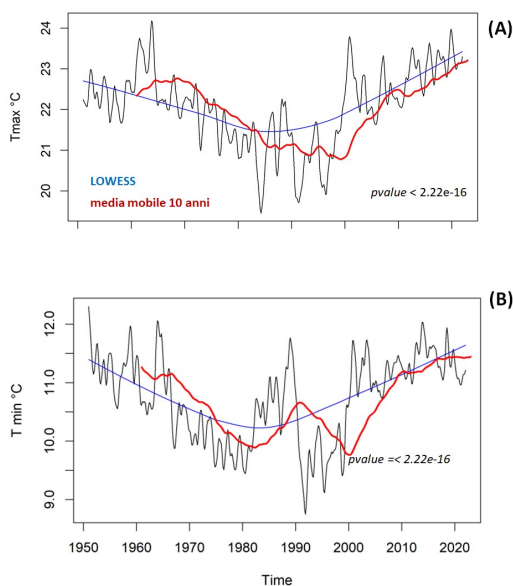


Fig.2 - Andamento del trend del valore medio annuale della temperatura massima (A) e minima (B) rispetto a quello del periodo del 1961-1990.
 Fig.2- Trend component of the (A) maximum and (B) mean annual air temperature determined against the 1961-1990 normal values.

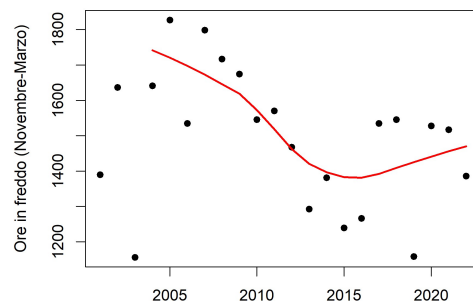


Fig.3 - Andamento delle ore di freddo (metodo Utah) durante il periodo 1 Novembre- 31 Marzo delle annate dal 2001 al 2022. La linea rappresenta l'interpolazione LOWESS a partire dal 2004.
 Fig.3 - Chilling hours (Utah method) determined for the period 1st November-31st March across the seasons from 2001 to 2022. The line is a LOWESS fitting curve starting from 2004.

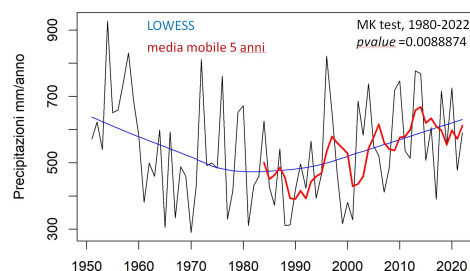


Fig.4 – Piovosità annua registrata nel periodo 1951:2022 e relativa curva Lowess. La linea in grassetto rappresenta la media mobile (5 anni) del periodo 1980:2022.
 Fig.4 - Annual rainfall recorded during 1951:2022 and the related Lowess fitting curve. The bold line represents the 5-year running average over the 1980:2022 period.

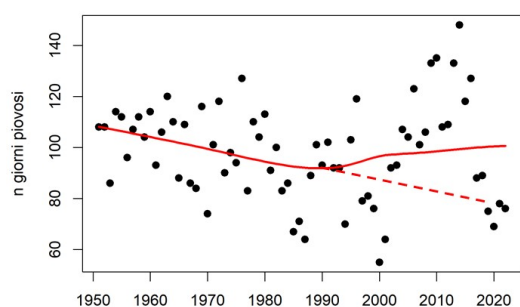


Fig.5 – Numero dei giorni piovosi per anno registrato nel periodo di studio. La linea continua rappresenta l'interpolazione LOWESS, il tratto discontinuo di linea non considera i valori dei giorni degli anni 2010.

Fig.5 - Number of annual rainy days recorded recorded during the study period. The continuous line is a LOWESS fitting curve, the dashed line represents the fitting excluding the values of the 2010s years.

Founding: The authors declare no conflict of interest. This study was carried out within the Agritech National Research Center and received funding from the European Union Next-GenerationEU (PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.4 – D.D. 1032 17/06/2022, CN00000022, CUP: C33C22000250001). This manuscript reflects only the authors' views and opinions, neither the European Union nor the European Commission can be considered responsible for them.

Bibliografia

Amato D, Montanaro G, Summerer S, Briglia N, Attia F, Challet E, Nuzzo V, 2020. The effects of calcite silicon-mediated particle film application on leaf temperature and grape composition of Merlot (*Vitis vinifera* L.) vines under different irrigation conditions. *OENO One*, 54(4), 1007–1020.

C3S Bulletin, 2021. C3S Climate Bulletin change from 1981-2010 to 1991-2020 reference period. Copernicus Climate Change Service, accessed on 10 May 2023.

Chmielewski F-M, Müller A, Bruns E, 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology* Volume 121 (1–2): 69-78.

Fernandez E, Mojahid H, Fadón E, Rodrigo J, Ruiz D, Egea JA, Mimoun MB, Kodad O, El Yaacoubi A, Ghrab M, Egea J, Benmoussa H, Borgini N, Elloumi O, Luedeling E, 2023. Climate change impacts on winter chill in Mediterranean temperate fruit orchards. *Regional Environmental Change* 23:7.

Fraga H, Malheiro AC, Moutinho-Pereira J, Santos JA (2013) Future scenarios for viticultural zoning in Europe: ensemble projections and uncertainties. *Int J Biometeorol* 57(6):909–925.

Gordo O., Sanz J.S., 2010. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology* 16(3): 1082-1106.

Hatfield JL, Boote KJ, Kimball BA, Ziska LH, Izaurralde RC, Ort D, Thomson AM, Wolfe D, 2011. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal* 103(2): 351-370.

IPCC (2014) Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Summaries, frequently asked questions, and cross-chapter boxes. A contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change:190

ISPRA, Stato dell'Ambiente, 2012. Elaborazioni delle Serie Temporal per la stima delle tendenze climatiche, ISBN 978-88-448-0559-3.

Jones GV, White MA, Cooper OR, Storchmann K (2005) Climate change and global wine quality. *Clim Chang* 73(3):319–343.

Keller M, 2010. Managing grapevines to optimize fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturist. *Austr. J. Grape Wine Res.* 16, 56–69.

Lobell DB, Burke MB, 2008. Why are agricultural impacts of climate change so uncertain? The importance of temperature relative to precipitation. *Environ. Res. Lett.* 3 (2008) 034007.

Luedeling E, Zhang M, Girvetz EH, 2009. Climatic changes lead to declining winter chill for fruit and nut trees in California during 1950–2099. *PLoS ONE* 4(7): e6166.

Medrano H, Tomás M, Martorell S, Escalona J-M, Pou A, Fuentes S, et al., 2015. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. *Agron. Sust. Dev.* 35, 499–517.

Naulleau A, Gary C, Prévot L and Hossard L, 2021. Evaluating Strategies for Adaptation to Climate Change in Grapevine Production – A Systematic Review. *Front. Plant Sci.* 11:607859.

R Core Team, 2021. "R: A language and environment for statistical computing", R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <https://www.R-project.org/>.

Racsko J, Schrader LE, 2012. Sunburn of apple fruit: historical background, recent advances and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences* 31(6): 455-504.

Richardson E.A., S.D. Seeley, D.R. Walker., 1974. A model for estimating the completion of rest for "Redhaven" and "Elberta" Peach trees." *HortScience* 9 (4): 331–32.

Roussos PA, 2020. Climate change impacts on fruit trees and mitigation strategies of adverse effects. *AgroLife Scientific Journal* 9(2): 269-276.

Schultz HR, 2000. Climate changes in viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV effects. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6, 2–12.

**APPLICAZIONE DI UN MODELLO COMPLETO DI INFILTRAZIONE PER
ESPERIMENTI AD ANELLO SINGOLO: VALUTAZIONE DELLA
VARIABILITÀ TEMPORALE DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA
SATURA E DELLE PROPRIETÀ FISICHE DEL SUOLO GESTITO CON
LAVORAZIONE MINIMA E NON LAVORAZIONE**
*APPLYING A COMPREHENSIVE MODEL FOR SINGLE RING INFILTRATION:
ASSESSMENT OF TEMPORAL CHANGES IN SATURATED HYDRAULIC
CONDUCTIVITY AND PHYSICAL SOIL PROPERTIES UNDER MINIMUM- AND NO
TILLAGE SOIL MANAGEMENT*

Mirko Castellini^{1*}

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente – Sede di Bari (CREA-AA)
* mirko.castellini@crea.gov.it

Abstract

A new hydraulic model for saturated soil hydraulic conductivity (K_s) estimation proposed by Stewart and Abou Najm was applied, and data estimated from the different calculation approaches were compared with a reference (SSBI method). Five sampling dates were carried out in a long-term experiment of south Italy, comparing minimum tillage (MT) and no-tillage (NT). The objectives of this work were: i) test the proposed new model under real field conditions, ii) investigate the impact of MT and NT on soil properties, including K_s , bulk density (ρ_b) and soil water content (θ_i) and iii) use such information to study the seasonal variability under MT and NT. The main results showed model overestimation (factor 4-11) or discrepancies negligible when simplified/transient, or steady approaches, were considered. Regardless of the selected approach, results showed a lack of K_s seasonal changes from April to June under NT, while MT showed a relatively higher variability. The seasonal changes of θ_i were higher under MT than NT, as no-tilled soil showed a clear stability between November and April. Similar patterns were detected for ρ_b , as bulk density increased significantly from mid-season until June. It was concluded that NT was moister and denser but no less conductive than MT.

Parole chiave

Esperimenti Beerkan, densità apparente del suolo secco, contenuto idrico del suolo, qualità fisica del suolo

Keywords

Beerkan experiments, bulk density, soil water content, soil physical quality

Introduzione

La conoscenza delle principali proprietà fisiche e idrauliche del suolo è fondamentale per modellare i processi idrologici dei sistemi agricoli. Tra le proprietà del suolo di particolare interesse, la conducibilità idraulica del suolo saturo, K_s , rappresenta un parametro chiave, perché evidenzia la capacità di un suolo di trasmettere acqua quando è completamente saturo. Essendo K_s un indicatore delle caratteristiche strutturali del mezzo poroso, che dà conto cioè sia degli effetti dell'arrangiamento spaziale delle particelle del suolo per costituire aggregati, sia degli effetti della porosità del suolo, è potenzialmente utilizzabile per valutare condizioni ottimali, o non ottimali, del suolo per la crescita delle colture (Keller et al., 2012).

La modellizzazione dei sistemi agricoli, nell'ottica del risparmio e dell'ottimizzazione l'acqua, può essere onerosa, potendo richiedere numerose misure fisiche e idrauliche del suolo distribuite per l'intero ciclo colturale. Il metodo Beerkan si è dimostrato affidabile nel fornire stime accurate di K_s in modo rapido e relativamente semplice. Il modello idraulico per la stima della K_s recentemente proposto da

Stewart and Abou Najm (2018), considera diversi approcci di calcolo che differiscono per le modalità con cui alcuni parametri del suolo (lunghezza capillare macroscopica e contenuti idrici) vengono vincolati, per l'uso della fase transitoria o stazionaria della curva di infiltrazione, e per i diversi metodi di interpolazione applicati alle misure della fase transitoria. Tuttavia, è auspicabile che venga ulteriormente testato in esperimenti in campo.

Gli obiettivi del lavoro erano quelli di i) testare il nuovo modello in condizioni reali di campo, e confrontare le stime ottenute con i diversi approcci di calcolo con un metodo stazionario (metodo SSBI) usato come riferimento, ii) studiare l'impatto di sistemi alternativi di gestione del suolo sulle principali proprietà del suolo, includendo contenuto idrico (θ_i) e densità apparente del suolo secco (ρ_b), e iii) ottenere informazioni sulla variabilità stagionale di K_s , θ_i e ρ_b .

Materiali e Metodi

Lo studio è stato condotto nella stagione colturale 2015-2016 presso l'azienda sperimentale del CREA-AA a Foggia in un esperimento di lungo periodo, avviato nel 2002, su una monocoltura di grano duro, volta a confrontare l'impatto di lungo termine di due sistemi di gestione del suolo, lavorazione minima e non-lavorazione (MT e NT) su un suolo argilloso (Castellini et al., 2019). La prova agronomica è stata campionata in cinque epoche, comprese tra novembre (post lavorazione del suolo) e giugno (raccolta), al fine di studiare la variabilità temporale durante l'intero ciclo colturale. Per ciascuna epoca e gestione del suolo, sono stati prelevati 5-12 campioni di suolo indisturbato (250 cm^3) per la determinazione della curva di ritenzione idrica in laboratorio, di θ_i e ρ_b . Per tali determinazioni sono stati applicati metodi standard di laboratorio. Nelle stesse date, sono state effettuate 5-8 infiltrazioni del tipo Beerkan, in campo, per costruire la curva cumulata di infiltrazione, $I(t)$. Per ciascuna infiltrazione, è stato utilizzato un anello d'acciaio con bordo affilato e diametro di 8.5 cm, inserito superficialmente nel terreno (1 cm), utilizzando 15 volumi d'acqua di 60 ml per ciascuno esperimento (Bagarello et al., 2017).

Il metodo della sovrapposizione delle distribuzioni di frequenza (DF) è stato applicato per quantificare la similitudine tra le serie di dati in termini di distribuzioni, e due approcci di calcolo sono stati considerati non statisticamente differenti quando almeno il 75% delle aree di due funzioni di densità di probabilità di K_s sono risultate sovrapponibili (Pastore e Calcagni, 2019). La variabilità temporale delle proprietà fisiche e idrauliche è stata valutata con il *test-THSD* mentre, per ciascuna data di campionamento, la significatività statistica tra MT e NT è stata valutata con un *test-t* a due code. Si è sempre assunto un livello di significatività di $\alpha = 0,05$.

Risultati e Discussione

Tra gli approcci di calcolo considerati, l'approccio 2 è stato scartato poiché non ha restituito stime affidabili di K_s , o ha fornito valori negativi, quindi, privi di significato fisico. La Fig.1 mostra il confronto tra i modelli utilizzando le stime di K_s ottenute considerando il set dati nella sua interezza (MT+NT), selezionando le infiltrazioni che, simultaneamente, hanno fornito una stima plausibile di K_s con tutti gli approcci di calcolo. In generale, il metodo di sovrapposizione delle DF per coppie ha rivelato un accordo soddisfacente (sovrapposizione $\geq 75\%$) solo per sei approcci di calcolo, generalmente quelli stazionari, mentre A1 è risultato sempre diverso rispetto agli altri approcci di calcolo (Fig.1).

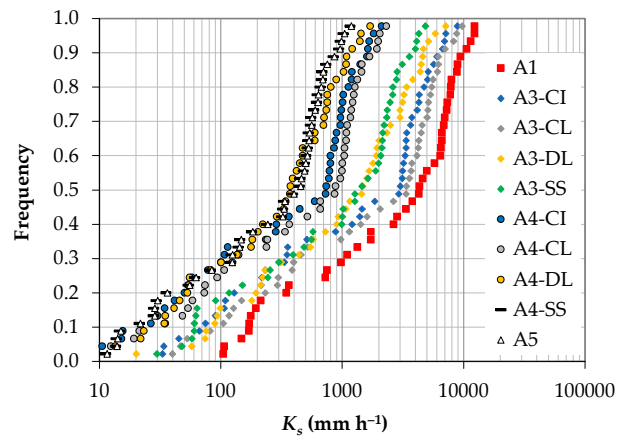


Fig.1 - Distribuzione di frequenza cumulativa empirica di K_s ottenuta per i diversi criteri di calcolo.

Fig.1 - Empirical cumulative frequency distribution of K_s obtained from different calculation criteria.

In generale, i valori di θ_i sono diminuiti nel corso della stagione di crescita, mentre quelli di ρ_b hanno avuto andamento crescente, come era atteso (Fig.2). Il suolo NT è risultato significativamente più umido di MT in 4 delle 5 date di campionamento considerate. Le differenze tra le date di campionamento sono risultate significative solo per MT e nella seconda parte della stagione (da aprile in poi), mentre nessuna variabilità temporale è stata osservata per NT (Fig.2). Per contro, ρ_b è aumentata nel corso della stagione, ed il suolo NT è risultato significativamente più compatto di MT. Tuttavia, è stata evidenziata una generale stabilità temporale di ρ_b , con sporadiche differenze rilevate solo al termine della stagione di crescita (Fig.2).

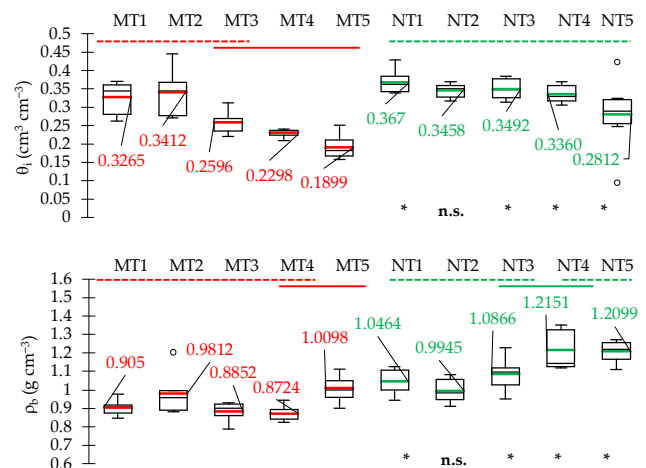


Fig.2 - Diagrammi a scatola di θ and ρ_b per ciascuna data di campionamento (da 1 a 5) di MT e NT. Le linee continue e in tratteggio indicano differenze significative o non significative, rispettivamente, tra due date consecutive.

Fig.2 - Box plots of θ and ρ_b , of each sampling date (1 to 5) under MT and NT. Solid and dashed lines indicate significant and not significant differences, respectively, between two consecutive sampling dates.

Con riferimento al metodo stazionario SSBI (Bagarello et al., 2017) usato come termine di confronto, i risultati hanno mostrato una generale sovrastima di K_s quando sono stati usati gli approcci semplificati/transitori (differenze comprese entro un fattore 4-11), mentre hanno evidenziato differenze trascurabili (fattore 1 circa) quando sono stati considerati gli approcci stazionari. I criteri che si sono rivelati utilizzabili per l'analisi temporale (A1, A3SS, A4SS e A5 di Stewart and Abou Najm, 2018), hanno fornito una stima della variabilità temporale non identica, ma sostanzialmente confrontabile soprattutto per la seconda parte della stagione di crescita. Ciò suggerisce che, indipendentemente dal modello idraulico selezionato a priori, le misure di K_s ottenute dovrebbero fornire informazioni verosimili sulla variabilità stagionale di K_s . A titolo di esempio, la Fig.3 evidenzia l'andamento stagionale della K_s relativa al modello SSBI. In particolare, si evidenzia come la conducibilità idraulica a saturazione non sia significativamente differente tra i due sistemi di gestione del suolo in 4 delle 5 date considerate. Come era atteso, inoltre, la K_s è risultata significativamente differente in novembre, cioè dopo la minima lavorazione del suolo (circa una settimana dopo), e quando il suolo NT evidenziava i più elevati valori di contenuto idrico. Infine, poiché MT ha mostrato differenze solo al termine della stagione di crescita, i risultati di Fig.3 rivelano il comportamento opposto (speculare) dei due sistemi MT e NT.

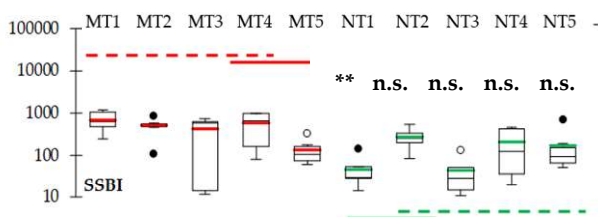


Fig.3 - Diagrammi a scatola di K_s corrispondenti all'approccio A5 (SSBI). Per l'interpretazione generale, si faccia riferimento alla Fig.2.

Fig.3 - Box plots of K_s using the calculation criteria A5 (SSBI). For the general interpretation, please refer to the captions in Fig.2.

Conclusioni

Lo studio effettuato in un esperimento di campo di lungo termine ha evidenziato che il suolo gestito con criteri di agricoltura conservativa (non lavorazione, NT) era, generalmente, significativamente più umido e più compatto, ma non meno conduttivo, rispetto a quello gestito con criteri più convenzionali (minima lavorazione, MT). Indipendentemente dal modello idraulico (approccio) considerato, differenze significative nei valori di K_s sono state rilevate per MT e NT solo dopo la lavorazione del suolo (i.e., $MT \gg NT$), mentre non erano significative ($MT \approx NT$) alla fine della stagione culturale (giugno).

Ringraziamenti

Questo contributo rappresenta un'attività di ricerca nell'ambito del progetto CAMA: PRIMA Foundation, call 2019-Section 1-GA n.1912 "Research-based participatory approaches for adopting Conservation Agriculture in the Mediterranean Area – CAMA".

Bibliografia

- Bagarello, V., Di Prima, S., Iovino, M., 2017. Estimating saturated soil hydraulic conductivity by the near steady-state phase of a Beerkan infiltration test. *Geoderma* 2017, 303, 70–77.
- Castellini, M., Stellacci, A.M., Barca, E., Iovino, M., 2019. Application of multivariate analysis techniques for selecting soil physical quality indicators: A case study in long-term field experiments in Apulia (southern Italy). *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2019, 83, 707–720.
- Keller, T., Sutter, J.A., Nisse, K., Rydberg, T., 2012. Using field measurement of saturated soil hydraulic conductivity to detect low-yielding zones in three Swedish fields. *Soil Till. Res.* 2012, 124, 68–77.
- Pastore, M., Calcagni, A., 2019. Measuring distribution similarities between samples: a distribution-free overlapping index. *Front. Psychol.* 10, 1089.
- Stewart, R.D., Abou Najm, M.R., 2018. A Comprehensive model for single ring infiltration I: initial water content and soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2018, 82, 548-557.

EFFETTI DELLE TEMPERATURE MASSIME SULLE PRODUZIONI DI MIELE DI ACACIA E CASTAGNO: CASO STUDIO PRELIMINARE IN ITALIA

EFFECTS OF MAXIMUM TEMPERATURES ON ACACIA AND CHESTNUT HONEY YIELDS: PRELIMINARY CASE STUDY IN ITALY

Alessandro Messeri ^{1,4*}, Lorenzo Arcidiaco ^{3**}, Dimitri Djialeu Tiako ², Bianca Evangelista ², Simone Orlandini ^{2,4}, Gianni Messeri ³, Marco Mancini ²

¹ LaMMA Consortium – Weather Forecaster and Researcher at Laboratory of Monitoring and Environmental Modelling for Sustainable Development, Via Madonna del Piano 10, 50019 - Sesto Fiorentino, Italy;

² Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence. Piazzale delle Cascine 18, 50144 - Florence, Italy;

³ Institute of Bioeconomy, National Research Council (IBE-CNR), Via Madonna del Piano 10, 50019 - Sesto Fiorentino, Italy;

⁴ Climate and Sustainability Foundation. Via Giovanni Caproni 8, 50145 - Florence, Italy.

* Corresponding author: a.messeri@lamma.toscana.it

** Corresponding author statistical analysis: lorenzo.arcidiaco@ibe.cnr.it

Abstract

In Italy, acacia and chestnut honey represent the two main monovarietal types. Climate change, with an increase in extreme meteorological events, impacts on phenology of the melliferous species and on bees activity. The aim of the study was to correlate the production of acacia and chestnut honey in 5 Italian climatic sub-regions with maximum temperature during the flowering phases of the two melliferous species in order to understand the impact on production. The results highlighted an impact of maximum temperature on acacia honey yields. In particular, high maximum temperatures, during the acacia flowering period, had generalized positive effects in all climatic sub-regions. The most important statistical significance have been highlighted in the North-West and North-East ($P < 0.01$). The results of this study could be useful in terms of protecting yields, income, animal welfare and ecosystem service.

Parole chiave italiano

Api; cambiamento climatico; agrometeorologia, specie mellifere, fenologia

Keywords english

Bees; climate change; agrometeorology, melliferous species, plants phenology

Introduzione

In Italia nel 2021 la produzione di miele è stata di 0,026 Mt e secondo l'ISMEA (2020) la produzione è incrementata negli ultimi 10 anni anche grazie all'aumento del numero di apicoltori professionisti e amatoriali che nel 2022 hanno prodotto in Italia circa 60 tipologie di miele monovarietale. Tuttavia, le produzioni annuali sono fortemente influenzate dalle condizioni climatiche (Rahimi et al 2021). Peat et al (2005) hanno evidenziato come il cambiamento climatico sta modificando la qualità e la quantità di nettare e/o polline disponibile, limitandone la raccolta da parte degli insetti impollinatori.

Il miele di *Robinia pseudoacacia* L. e di *Castanea sativa* L. in Italia rappresentano i due principali monovarietali (Pari et al., 2014). Attualmente in Italia gli studi che hanno indagato l'impatto delle condizioni meteo-climatiche sulla produzione di miele sono piuttosto limitati mentre alcuni studi a livello internazionale hanno correlato attività delle api, periodo fenologico produzione di miele e clima.

Medina et al (2018) hanno simulato in laboratorio condizioni di stress delle api e hanno individuato un effetto delle alte temperature (superiori a 40°C) sul fenotipo e sul comportamento delle api, con potenziali conseguenze per le colonie.

Tan et al (2012), in uno studio effettuato in Cina, hanno individuato la massima attività di foraggiamento delle api nel periodo primaverile con temperature prossime ai 20°C. Questa temperatura sembra avere un effetto positivo anche sulle caratteristiche del nettare che diventa più disponibile per l'insetto e con un maggior contenuto zuccherino (Bertsch 1983, Kim et al 2020).

Lo scopo dello studio è stato quello di correlare la produzione di miele di acacia e castagno di 5 sottoregioni climatiche italiane, nel periodo 2015-2022, con le temperature medie massime dell'aria durante le fasi di fioritura di *Robinia pseudoacacia* L. e *Castanea Sativa* L. per comprenderne l'impatto sulle rese.

Materiali e Metodi

La produzione del miele di acacia e di castagno nel periodo 2015-2022 sono state ricavate dai rapporti annuali dell'Osservatorio Nazionale del Miele che riportano la produzione kg/alveare su scala regionale. I dati di ogni singola regione sono stati poi mediati in 5 sub-aree climatiche (Fig. 1). Le 5 aree climatiche sono 2 per l'Italia settentrionale (Nord-Ovest, Nord-Est), 2 per Italia Centrale (Tirreno centrale e settentrionale, centrali adriatiche) ed una

soltanto per l'Italia meridionale, comprendente anche la regione Sicilia.

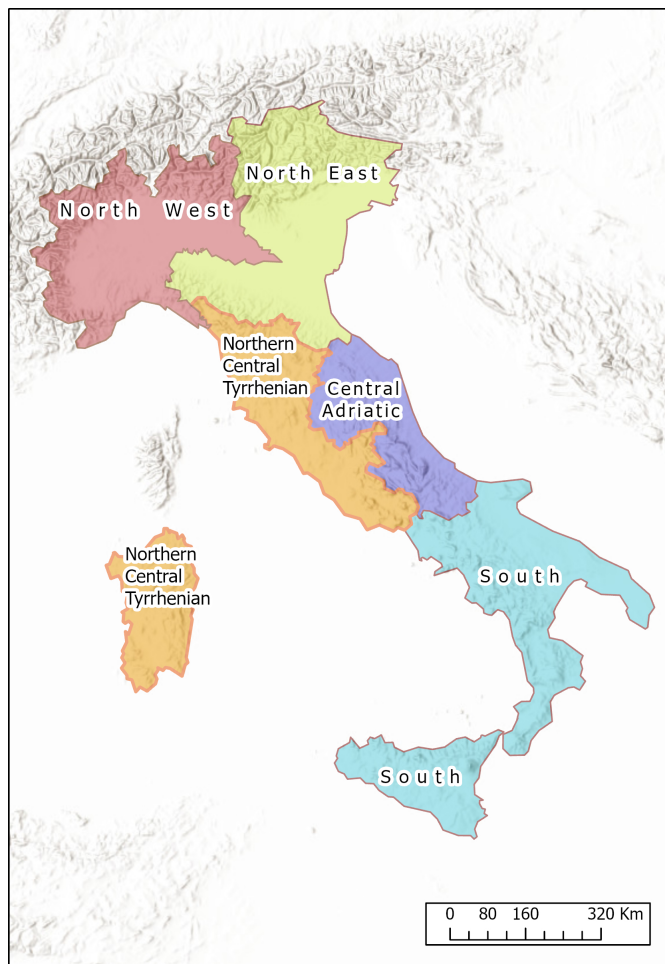


Fig.1 - Sottoregioni climatiche italiane utilizzate nello studio

Fig.1 - Italian climatic sub-regions used in the study

I dati climatici di temperatura dell'aria e di precipitazione sono stati ottenuti da Era5 Land (risoluzioni 9km X 9km) per il periodo compreso tra il 1950 ed il 2022 e sono stati anch'essi mediati all'interno di ciascuna sub-area climatica. Utilizzando la temperatura dell'aria a 2 metri, sono state individuate dapprima le temperature medie massime all'interno di ciascuna area climatica e successivamente il numero di giorni appartenenti alle 5 classi di percentile (75,80,85,90,95) individuati come soglie termiche ritenute rilevanti durante le fasi di fioritura.

I dati fenologici per acacia e castagno sono stati acquisiti dalla Rete Fenologica Italiana (IPHEN) che monitora lo stadio BBCH di alcune specie mellifere (Mariani et al., 2013). Attraverso le mappe fornite da IPHEN è stato individuato il DOY (Day of the Year), giorno dell'anno corrispondente al 50% della fioritura (Meier 2001). L'intervallo di fioritura è stato successivamente definito in una finestra lunga 15 giorni; definita da 7 giorni prima e dopo la data del DOY. Le relazioni tra produzione di miele e numero di giorni desunti nelle varie classi di percentile

sono state determinate attraverso delle regressioni di tipo lineare da cui da cui, per ogni modello adottato, sono stati derivati i relativi coefficienti di performance statistica.

E' stata indagata anche la relazione esistente tra produzione di miele e numero di giorni con pioggia superiore a 5mm verificatesi all'interno della finestra temporale considerata; a tal fine per ogni area è stato quindi implementato un modello statistico.

Risultati e Discussione

Le temperature massime medie di ogni singola area hanno mostrato un impatto positivo sulle produzioni di miele primaverile di acacia in tutte le sub-aree climatiche italiane, evidenziando una correlazione significativa soprattutto sul Centro-Nord Italia (Tab. 1) con temperature delle soglie di percentile generalmente comprese tra 18 e 24°C.

Tab.1 - Correlazioni tra produzione del miele di acacia e numero di giorni con i percentili più elevati (75,80,85,90,95) di temperature massime nelle cinque sub aree climatiche. t = temperatura media della soglia di percentile. Sig. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** = $P < 0.001\%$.

Tab.1 - Correlations between acacia honey production and number of days with the highest maximum temperatures (percentiles 75,80,85,90,95) in the five climatic sub-areas. t = average temperature of the percentile threshold. Sig. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** = $P < 0.001\%$.

Percentile		75	80	85	90	95
Nord ovest	r	0.83	0.83	0.66	0.64	0.55
	sig	**	**	*	NS	NS
	t	17.5	18	18.5	19.2	21.2
Nord ovest	r	0.88	0.89	0.88	0.83	0.33
	sig	**	**	**	**	NS
	t	18	18.5	19	19.7	21.5
Centrali tirreniche	r	0.75	0.78	0.77	0.77	0.29
	sig	*	*	*	*	NS
	t	20.2	20.6	21	21.6	23.8
Adriatico Centrale	r	0.63	0.69	0.54	0.48	-0.1
	sig	NS	*	NS	NS	NS
	t	19.4	20	20.5	21.2	23.4
Sud	r	0.34	0.38	0.31	0.05	
	sig	NS	NS	NS	NS	NS
	t	20.4	20.9	21.5	22.3	24.7

Le significatività più elevate ($P < 0.01$) sono state riscontrate nelle aree del Nord-Ovest e nel Nord-Est.

A conferma di ciò, la figura 2 mostra le produzioni annuali di miele di Acacia della sub-area climatica Nord-Ovest, dove si evidenzia come negli anni caratterizzati da una maggiore frequenza di numero di giorni caldi, le produzioni appaiono più alte.

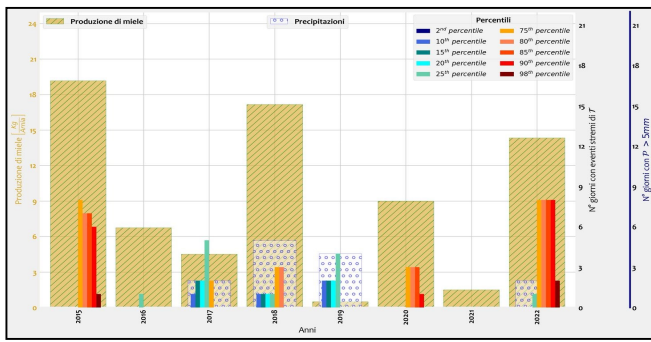


Fig.2 - Produzioni annuali di miele di acacia, numero di giorni per ogni classe percentile di temperatura massima giornaliera e numero di giorni con precipitazioni superiori a 5 mm.

Fig.2 - Annual productions of acacia honey, number of days for each percentile classes of maximum daily temperature and number of days with rainfall greater than 5 mm.

I risultati sembrano in accordo con quanto evidenziato da Tan et al (2012), con una massima attività di foraggiamento delle api nel periodo primaverile con temperature vicine ai 20°C.

Secondo alcuni studi, questa temperatura ha un effetto positivo anche sulle caratteristiche del nettare che diventa più disponibile per l'insetto e con un maggior contenuto zuccherino (Bertsch 1983, Kim et al 2020). Inoltre, le temperature più elevate consentirebbero una più rapida apertura delle infiorescenze, riducendo il tempo che l'ape impiega per catturare il nettare (Giovannetti et al 2013).

Per quanto riguarda invece le temperature massime più basse (classi di percentili inferiori) hanno avuto un impatto generalmente negativo sulle produzioni di miele di acacia ma non si sono evidenziate significatività in nessuna delle aree.

Per quanto riguarda invece il castagno le temperature massime non hanno mostrato correlazioni significative con i valori di temperatura massima dell'aria anche se le produzioni, in tutte le sub-aree climatiche sono state influenzate negativamente dalle temperature massime più elevate e positivamente da quelle più basse. Se si considera che la fioritura nel castagno avviene principalmente nel mese di giugno, si comprende come gli estremi termici più elevati relativi alle temperature massime si collocano già ben al di sopra dei valori indicati come ottimali per l'attività dell'ape (20°C) e questo potrebbe spiegare in parte l'effetto deprimente sulle produzioni da parte degli estremi termici più elevati. Allo stesso modo, le temperature massime più basse nel periodo di giugno tendono a collocarsi più vicine alle soglie ottimali

Conclusioni

Lo studio ha messo in evidenza come la temperatura dell'aria è stata in grado di descrivere le produzioni di miele di acacia in 5 aree su-aree climatiche italiane. In particolare, le temperature massime più elevate hanno mostrato un impatto positivo sulle produzioni del miele di acacia, soprattutto sulle aree del Centro-Nord ed in particolare su Nord-Ovest e Nord-Est mentre i valori più bassi hanno impattato negativamente seppur in maniera non significativa. La comprensione dell'effetto dei parametri meteo-climatici sulle produzioni di miele potrebbe consentire in futuro di utilizzare le previsioni stagionali per ottenere indicazioni sulle rese di miele, fornendo quindi all'apicoltore uno strumento che gli consenta di gestire al meglio il nomadismo, tutelando, produzione, reddito, benessere animale e servizio ecosistemico.

Ringraziamenti

Attività svolte nell'ambito del progetto "BEEWIN" "bando Miele" 2021 del MIPAAF. Si ringrazia la Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze per il sostegno agli studi.

Bibliografia

- Bertsch A., 1983. Nectar production of *Epilobium angustifolium* L. at different air humidities; nectar sugar in individual flowers and the optimal foraging theory. *Oecologia*. 1983 Aug;59(1):40-8. <https://doi.org/10.1007/BF00388069>. Epub 2004 Sep 13. PMID: 25024144;
- Giovanetti M., Aronne G. 2013. Honey bee handling behaviour on the papilionate flower of *Robinia pseudoacacia* L. *Arthropod-Plant Interact.*, 7, 119–124 <https://doi.org/10.1007/s11829-012-9227-y>
- ISMEA - Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare. Report Settembre 2022. <https://www.ismeamercati.it/api-miele>
- Kim YK., Lee S., Song JH., Kim MJ., Yunusbaev U., Lee ML., Kim MS., Kwon HW. 2020. Comparison of Biochemical Constituents and Contents in Floral Nectar of *Castanea* spp. *Molecules*. Sep 15;25(18):4225. <https://doi.org/10.3390/molecules25184225>. PMID: 32942597; PMCID: PMC7570523;
- Mariani L., Alilla R., Cola G., Dal Monte G., Epifani C., Puppi G., Failla O., 2013. IPHEN—a real-time network for phenological monitoring and modelling in Italy. *Int J Biometeorol* (2013) 57:881–893 DOI 10.1007/s00484-012-0615-x
- Medina RG., Paxton RJ., De Luna E., Fleites-Ayil FA., Medina LA., Quezada-Euán JJG., 2018. Developmental stability, age at onset of foraging and longevity of Africanized honey bees (*Apis mellifera* L.) under heat stress (Hymenoptera: Apidae). *J Therm Biol* ;74 :214-225. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.04.003>;
- Osservatorio Nazionale del Miele. Report Andamento produttivo e di mercato del miele, 2015-2022; <https://www.informamiele.it/document/report-annuali-produzione-e-mercato>
- Meier U., 2001. Growth Stages of Mono and Dicotyledonous Plants. BBCH Monograph, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Bonn;
- Peat J. & 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>;
- 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>;
- Tan K., Yang S., Wang Z.-W., Radloff S.E. Oldroyd B.P., 2012. Differences in foraging and broodnest temperature in the honey bees *Apis cerana* and *A. mellifera*. *Apidologie*, 43(6): 618-623. <https://doi.org/10.1007/s13592-012-0136-y>;

CONSUMI DELLE SCORTE DI MIELE E ANDAMENTO METEOROLOGICO DELLA STAGIONE INVERNALE: PRIME OSSERVAZIONI IN UN APIARIO DEL MUGELLO

CONSUMPTION OF HONEY STOCKS AND METEOROLOGICAL TRENDS OF THE WINTER SEASON: FIRST OBSERVATIONS IN AN APIARY IN MUGELLO

Marco Mancini ^{1*}, Lorenzo Arcidiaco ², Simone Orlandini ^{1,3}, Francesco Sabatini ², Anna Dalla Marta ¹, Alessandro Messeri ^{3,4}

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

² Institute of Bioeconomy, National Research Council (IBE-CNR), Via Madonna del Piano 10, 50019 - Sesto Fiorentino, Italy;

³ Climate and Sustainability Foundation. Via Giovanni Caproni 8, 50145 - Florence, Italy;

⁴ LaMMA Consortium – Weather Forecaster and Researcher at Laboratory of Monitoring and Environmental Modelling for Sustainable Development, Via Madonna del Piano 10, 50019 - Sesto Fiorentino, Italy.

* Corresponding author: marco.mancini@unifi.it

Abstract

The consumption by bee of honey during the winter season is directly and indirectly influenced by climatic conditions. On the one hand, the air temperature plays a key role in the activity required to maintain the minimum vital temperature, through the formation of winter clusters, on the other it conditions the brood potential at the end of winter and therefore the development of strong colonies during the spring.

The analysis of the weight variations of an apiary located in Mugello, during three winter seasons, provided a preliminary picture of the responses of the bees to the external environment. Results show that the winter "brood block" can vary greatly its start, end and duration. During this period, honey stored consumption varied on average between -53 and +6 g/d. In the previous period the average daily consumption varied between 59 and 115 g, while in the following period between 44 and 103 g/d. The effects of minimum winter temperature, during two years, showed an ability of the bee colonies to raise the internal temperature by 3.6 and 3.8 °C.

Parole chiave

Api; miele; agrometeorologia, fenologia delle api

Keywords

Bee; honey; agrometeorology, bee phenology

Introduzione

La produzione di miele è in aumento a livello mondiale e secondo la FAO nel 2020 la resa è stata di 1,77Mt (FAOSTAT 2022). Sempre secondo la FAO negli ultimi venti anni, la produzione globale è aumentata di quasi il 50%, grazie soprattutto all'aumento del numero degli allevatori e degli apiari.

In centro nord Italia particolare importanza per le produzioni riveste il periodo invernale, ed in particolare l'accumulo ed il consumo delle scorte invernali da parte delle api che sono direttamente ed indirettamente influenzati dalle condizioni climatiche invernali (Owens 1971). È noto che nel periodo autunno-invernale il ciclo di vita delle colonie entra nella fase denominata "blocco di covata". Questo periodo è caratterizzato da un'interruzione dell'ovodeposizione della regina e la sua durata è variabile. Successivamente riprende la covata e l'allevamento dei nuovi individui, in maniera crescente con l'avvicinarsi della primavera. Uno studio effettuato in alcune regioni austriache nel 2017 (Switanek et al 2017), ha visto la realizzazione di un modello statistico per prevedere la mortalità delle colonie di api in inverno, ed ha messo in luce l'impatto negativo delle alte temperature e della siccità

verificatesi nel corso dell'estate precedente. Uno studio molto recente invece, effettuato sempre in Austria (Becci et al 2021), ha analizzato un data-set di mortalità di colonie di api durante un periodo di 10 anni, mettendolo in relazione con l'andamento delle temperature invernali. Dallo studio è emerso come il 20% della mortalità invernale delle colonie può essere spiegata con le ondate di freddo invernali e soprattutto con la loro durata e con il loro timing. In particolare, le ondate di freddo più tardive che si sono verificate nella parte centrale e finale dell'inverno hanno mostrato un impatto significativamente maggiore sulla sopravvivenza delle colonie. Infatti, durante le giornate più fredde, quando le temperature dell'aria scendono sotto a circa 10°C, le api si aggregano in una massa sferica formando il glomere (Tibor 1985). Il glomere serve sia per mantenere la temperatura dei singoli individui adulti più alta sia per mantenere gli stadi larvali a temperature consone allo sviluppo. Le attività di riscaldamento avvengono anche attraverso lo sfregamento e richiedono il consumo di scorte che è tanto più elevato quanto più grande è la colonia e la covata e quanto è l'intensità del freddo (Owens 1971). Uno studio piuttosto recente ha indagato l'impatto che repentine variazioni di temperatura, sempre più frequenti

con il cambiamento climatico hanno sul sistema immunitario delle api, sia a livello individuale che a livello di colonia (Butolo et al 2021).

È inoltre da tenere in considerazione come dimensione della colonia e quantità di scorte condizionano le potenzialità di covata in fine inverno e quindi lo sviluppo di colonie primaverili forti. L'allevamento di colonie numerose è infatti il presupposto per far combaciare le fioriture delle principali specie mellifere con un elevato numero di bottinatrici.

Frequentemente si fa fronte a quest'ultime necessità ricorrendo alla nutrizione artificiale (Paray et al 2021), soprattutto quando le potenzialità delle specie mellifere precoci sono compromesse dalle condizioni climatiche avverse.

L'obiettivo di questo studio è stato quello di indagare le variazioni di peso invernale di un apiario posto in Mugello al fine di valutare correlazioni con la temperatura dell'aria, cercando di fornire quindi un primo quadro conoscitivo delle relazioni sussistenti.

Materiali e Metodi

Una stazione sperimentale è stata locata in un'area collinare prevalentemente boscata nel comune di Scarperia e San Piero in provincia di Firenze.

Il monitoraggio del peso di un'arnia è stato effettuato per mezzo di una bilancia posta sotto l'apiario con acquisizione oraria del peso e della temperatura interna ponendo un sensore al centro dell'apiario. Al fine di rilevare le condizioni meteorologiche della posizione ove è stato monitorato l'apiario è stata installata una stazione meteorologica per acquisire i principali parametri quali temperatura e umidità dell'aria, radiazione solare, velocità e direzione del vento, precipitazioni, pressione atmosferica (Figura 1).

Sono state analizzate tre stagioni invernali, definite come periodo ottobre-marzo, dal 2020 al 2023.

I decrementi di peso giornaliero dovuti principalmente al consumo di scorte sono stati analizzati definendo tre sottoperiodi: fine bottinaggio dell'ultima fioritura autunnale (edera) – inizio del blocco di covata, inizio blocco di covata - fine blocco di covata, fine blocco di covata - inizio bottinaggio prima fioritura primaverile (susino selvatico).

La durata dei tre sottoperiodi è stata definita sulla base del punto di cambiamento delle tendenze (*change point*) sulla serie di dati di peso ordinati nel tempo.



Fig.1 - Stazione sperimentale
Fig.1 - Experimental station

I valori di temperatura minima dell'aria all'interno e all'esterno dell'alveare sono stati analizzati per valutare il condizionamento esercitato dagli insetti. La temperatura interna non è stata misurata all'interno del glomere in quanto molto difficile individuare l'esatto posizionamento all'interno dell'arnia.

Risultati e Discussione

I tre periodi invernali analizzati hanno mostrato differenze sia per le tendenze dei sottoperiodi sia per la loro durata.

I singoli andamenti sono dettati da molteplici fattori influenti riassumibili principalmente in: differenza di scorte iniziali, differenza nella numerosità della colonia, differente regina nei tre anni, differente andamento meteorologico.

Il primo sottoperiodo 2020-2021 è iniziato l'8 ottobre 2020, con il termine della fioritura dell'edera, con un peso iniziale di 45,10 kg. (fig. 2). La consistenza iniziale dell'alveare è stata stimata in circa 46000 individui. Durante il primo sottoperiodo durato 56 giorni il decremento giornaliero è stato mediamente di 110 gr/g. Il secondo sottoperiodo è durato 37 giorni e il consumo si è ridotto a 32 gr/g. L'ultimo sottoperiodo è durato 73 giorni, fino all'inizio del bottinaggio del susino (22 marzo 2021), ed il consumo medio è risultato di 909 gr/g. (tab. 1).

Il secondo periodo, ottobre 2021 - marzo 2022, è stato caratterizzato da un'elevata consistenza di scorte iniziali e di popolazione dell'apiario, stimata in 70000 individui. Il peso iniziale al termine del bottinaggio dell'edera (5 ottobre 2021) era di 52,4 kg. (fig. 2). Il primo sottoperiodo, durato 40 giorni, ha fatto registrare un decremento medio giornaliero di 115 gr. Nel secondo sottoperiodo, durante il blocco di covata il decremento si è circa dimezzato (53 gr/g.) e la durata è stata di 28 giorni. L'ultimo sottoperiodo è stato caratterizzato da un consumo medio giornaliero di 103 gr/g. e si è concluso dopo 93 giorni, con la fioritura del susino selvatico, il 14 marzo 2022 (tab.1).

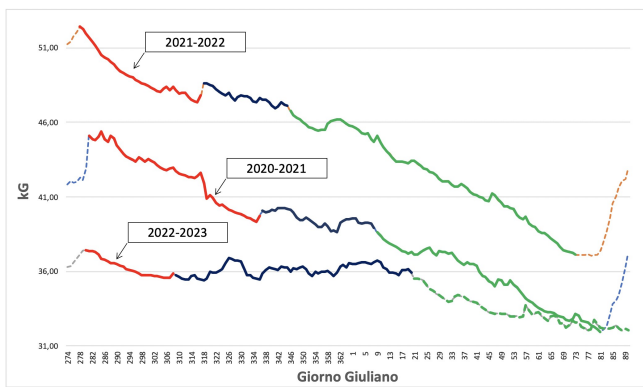


Fig.2 - Andamento del peso invernale di un alveare durante 3 stagioni. Si distinguono 3 sottoperiodi: in rosso fine fioritura edera - inizio blocco covata, in blu blocco di covata, in verde fine blocco di covata - inizio fioritura susino.

Fig.2 - Winter weight trend of a beehive during 3 seasons. There are 3 sub-periods: in red end of ivy flowering - beginning of brood block, in blue brood block, in green end of brood block - beginning of plum flowering.

L'ultimo periodo, 2022-2023, è iniziato il 7 ottobre con una scarsa consistenza delle scorte iniziali e della popolazione, stimata in circa 27000 individui. Il peso iniziale è stato di 37,4 kg. Il consumo del primo sottoperiodo è risultato di 66 gr/g. ed è durato 29 giorni, sebbene il posizionamento di questo *change point* sia risultato difficile. Nel secondo sottoperiodo si è addirittura registrato un incremento di 6gr/g. ed è durato 77 giorni. L'ultimo sottoperiodo è durato fino a fine marzo e non si è verificato l'incremento legato alla fioritura del susino che solitamente avviene alla fine di questo mese. I consumi medi giornalieri sono stati di 44 gr/g. (tab. 1).

Tab.1 – Equazioni delle rette di regressione del decremento di peso e durata dei sottoperiodi e temperatura media dell'aria.

Tab.1 - Equations of the regression lines of the decrease in weight and duration of the sub-periods and average air temperature.

	fine fioritura edera - blocco covata			blocco covata			ripresa covata - inizio fioritura biancospino		
	retta regressione	durata (gg)	Tmed (°C)	retta regressione	durata (gg)	Tmed (°C)	retta regressione	durata (gg)	Tmed (°C)
2020-2021	$y = -0,1096x + 45,554$	56	10,39	$y = -0,0315x + 40,107$	37	5,97	$y = -0,0909x + 38,782$	73	6,31
2021-2022	$y = -0,1151x + 51,543$	40	11,37	$y = -0,0531x + 48,468$	28	6,28	$y = -0,1029x + 47,305$	93	5,08
2022-2023	$y = -0,0692x + 37,316$	29	14,96	$y = 0,0066x + 35,837$	77	8,24	$y = -0,0444x + 34,869$	70	7,10

L'analisi della temperatura minima dell'aria all'interno dell'alveare ed all'esterno, nei periodi ottobre-marzo del 2020-2021 e 2022-2023 ha consentito di evidenziare l'effetto climatizzante esercitato dall'attività delle api all'interno dell'alveare (Fig.3). Nel primo periodo la temperatura è risultata mediamente superiore di 3,6°C, mentre nel 2022-2023 di 3,8 °C. Tuttavia è possibile notare che ad inizio autunno e fine inverno le differenze si accrescono (Fig.3). I due sottoperiodi sono caratterizzati da maggiore presenza di covata.

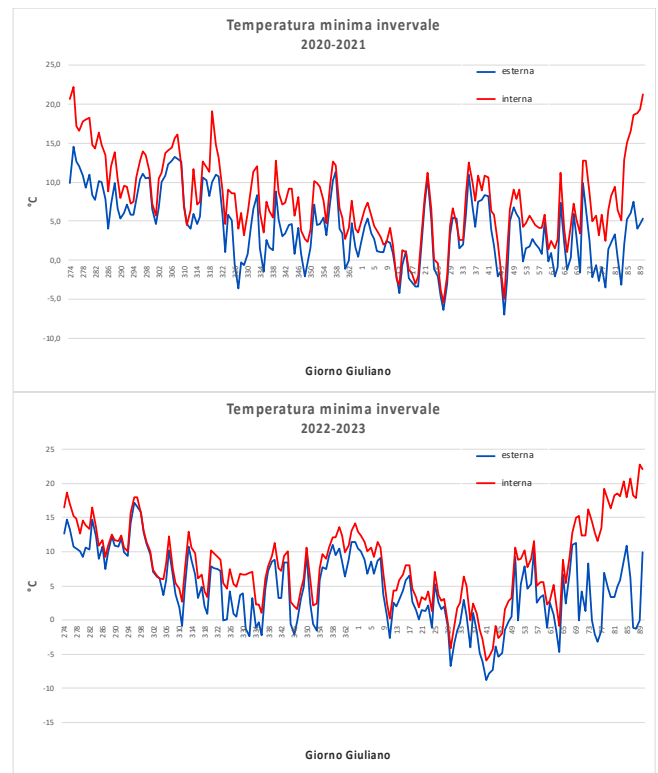


Fig.3 - Andamento della temperatura minima dell'aria all'interno e all'esterno dell'apiario durante due stagioni invernali.

Fig.3 - Trend of the minimum air temperature inside and outside the apiary during two winter seasons.

Nelle tre stagioni analizzate il periodo 2020-2021 ha mostrato un andamento intermedio nei consumi in tutti e tre i sottoperiodi a causa, probabilmente, della consistenza iniziale di api e di scorte. L'andamento climatico mite del periodo autunnale ha inciso nel ritardo di inizio del blocco di covata.

In tutti i tre inverni analizzati si può notare che sebbene il blocco di covata si verifichi in un periodo più freddo, rispetto al primo sottoperiodo, i consumi medi giornalieri di scorte sono inferiori in quanto l'allevamento degli stadi larvali richiede un forte dispendio energetico.

Il consumo del periodo 2022-2023 va analizzato in funzione della scarsa consistenza iniziale di individui e di scorte che ha probabilmente condizionato anche il comportamento delle api in termini di covata. Nonostante le condizioni iniziali ha superato le fasi di freddo invernale con decrementi che vanno rapportati alla consistenza della colonia.

Conclusioni

L'analisi del consumo invernale di scorte va analizzato in funzione di differenti parametri e non solamente in funzione della temperatura dell'aria. Le fasi fenologiche dell'ape hanno, infatti una forte incidenza, indipendentemente dalla variabilità interannuale delle temperature.

Il condizionamento termico esercitato dall'ape, così come la durata dei sottoperiodi sembra influenzata dalle temperature sia direttamente (covata e riscaldamento) che indirettamente (risorse trofiche della flora invernale). Questo lavoro preliminare pone le basi per un'indagine approfondita sui rapporti fra temperatura, durata dei sottoperiodi, variazioni dei consumi medi giornalieri di scorte

La relazione fra temperatura interna ed esterna è condizionata anche dalle caratteristiche coibentative del materiale di costruzione dell'arnia. L'impiego di arnie coibentate rappresenta una soluzione ipotizzabile per agevolare l'alveare nello sviluppo a fine inverno, per contenere i consumi e ridurre le onerose operazioni di nutrimento.

Ringraziamenti

Attività svolte nell'ambito del progetto "BEEWIN" "bando Miele" 2021 del MIPAAF. Si ringrazia la Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze per il sostegno agli studi.

Bibliografia

- Becsi Benedikt, Formayer Herbert and Brodschneider Robert, 2021. Biophysical approach to assess weather impacts on honey bee colony winter mortality. *R. Soc. open sci.* 8210618210618. <http://doi.org/10.1098/rsos.210618>;
- Butolo N.P, Azevedo P., Alencar L.D., Malaspina O., Nocelli R.C.F., 2021. Impact of low temperatures on the immune system of honeybees, *Journal of Thermal Biology*, Volume 101, 2021, 103082, ISSN 0306-4565, <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103082>.
- Beyer M, Junk J, Eickermann M, Clermont A, Kraus F, Georges C, Reichart A, Hoffmann L., 2018 Winter honey bee colony losses, Varroa destructor control strategies, and the role of weather conditions: results from a survey among beekeepers. *Res. Vet. Sci.* 118, 52–60. (doi:10.1016/j.rvsc.2018.01.012);
- FAOSTAT 2023. <https://www.fao.org/faostat/en>
- Owens, Charles D., 1971. The thermology of wintering honey bee colonies. United States, and Agricultural Research Service. 38pp;
- Paray Bilal Ahamad, Indu Kumari, Younis Ahmad Hajam, Bharti Sharma, Rajesh Kumar, Mohammed Fahad Albeshr, Mohammad Abul Farah, Javed Masood Khan, 2021. Honeybee nutrition and pollen substitutes: A review, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, Issue 1, 2021, p.1167-1176, ISSN 1319-562X, <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.053>.
- Switanek M, Crailsheim K, Truhetz H, Brodschneider R., 2017. Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. *Sci Total Environ.* 2017 Feb 1;579:1581-1587. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.178. Epub 2016 Dec 2. PMID: 27916302;
- Tibor I., Szabo S., 1985. The Thermology of Wintering Honeybee Colonies in 4-Colony Packs as Affected by Various Hive Entrances, *Journal of Apicultural Research*, 24:1, 27-37, DOI: 10.1080/00218839.1985.11100645;

IRRIGAZIONE DEL MAIS: RAINGER E ROTOLONE A CONFRONTO

CORN IRRIGATION: COMPARISON BETWEEN RAINGER AND RAIN GUN

Gaetano Roberto Pesce^{1*}, Luca Cestaro¹, Maurizio Borin¹, Carmelo Maucieri¹

¹ Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e Ambiente — DAFNAE, Università di Padova, Campus di Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 – Legnaro (PD).

*gaetano.pesce@unipd.it

Abstract

A three-year trial (2020-2022) was conducted in a farm in the Rovigo maize district to compare two irrigation systems (*Rainger* and rain gun) on grain maize. The trial was an *On Farm Experimentation*, being conducted on a large scale (~16 hectares), in real field conditions, with the interaction between researcher and farmer. The Climate Field View platform was used to manage irrigation, based on satellite data (Sentinel-2). The rainfall recorded during the growing seasons significantly decreased over the three years (from 327 mm in 2020 to 172 mm in 2022). The seasonal irrigation volumes in the three-year period increased from 177 to 251 mm with *Rainger* and from 200 to 320 mm with rain gun. The three-year average yield obtained with *Rainger* was 12 t DM ha⁻¹ of grain, while that obtained with rain gun was 11 t DM ha⁻¹. The average WUE was 2.3 kg m⁻³ with *Rainger* and 1.9 kg m⁻³ with rain gun. Average annual yields gradually decreased from 2020 (13.1 t DM ha⁻¹) to 2022 (10.0 t DM ha⁻¹), as well as the WUE values (from 2.5 to 1.8 kg m⁻³).

Parole chiave

Impianto irriguo, *Rainger*, l'irrigatore semovente ad ala avvolgibile, WUE, mais.

Keywords

Irrigation system, *Rainger*, Rain gun, WUE, maize.

Introduzione

Secondo le più recenti statistiche della FAO (Faostat, 2023), il mais, dopo il frumento, è la coltura a cui sono state destinate più superfici al mondo, con in media più di 1.93 · 10⁸ ha all'anno, nel decennio 2012-2021. Il mais, nei terreni franchi, fertili e ben drenati, si avvantaggia in modo rilevante dell'irrigazione. Tuttavia, l'acqua dolce è una risorsa sempre più scarsa, non solo nelle zone aride e soggette a siccità, ma anche nelle regioni dove le precipitazioni e l'acqua in generale sono state abbondanti fino a pochi anni fa. I dati forniti dall'ARPAV (2023) evidenziano che in Veneto i valori di precipitazione annuale sono molto dispersi attorno alla media annuale di lungo periodo (1993-2022). Tali dati, tuttavia, non tracciano una tendenza alla diminuzione delle precipitazioni. Nello stesso periodo (1993-2022), in Veneto, è stata invece registrata una chiara tendenza all'aumento delle temperature (+0,57 °C ogni dieci anni). Queste ultime incidono sulla domanda evapotraspirativa dell'atmosfera e, in ultima analisi, sul bilancio idroclimatico, inteso come differenza tra le precipitazioni e l'evapotraspirazione di riferimento (ET₀). Si impone pertanto la corretta gestione dell'acqua di irrigazione, anche attraverso l'utilizzo di moderne tecnologie, che diventano essenziali per massimizzare la produzione in rapporto agli input (Dinar et al., 2019; Pérez-Blanco et al., 2020).

In considerazione di quanto sopra riportato, il presente lavoro ha avuto come obiettivo quello di confrontare due impianti irrigui per aspersione, ossia il *Rainger* e l'irrigatore semovente ad ala avvolgibile (c.d. "rotolone"), per valutarne l'idoneità a fornire volumi irrigui commisurati alle esigenze

idriche di un ibrido di mais classe FAO 700. Il numero degli interventi irrigui e i volumi di adacquamento sono stati stabiliti sulla base delle esigenze irrigue, a partire da parametri rilevati da satelliti.

Materiali e Metodi

La prova è stata condotta per un triennio (2020-2022) in un'azienda del comprensorio maidicolo Rodigino (45°00'50"N, 11°35'55"E, 5 m s.l.m.). Il terreno, la cui terra fine è così ripartita: 43.6% di sabbia, 38.2% di limo e 18.2% di argilla, è classificato secondo l'USDA (2017) come terreno franco.

Il clima locale è temperato con estate umida, con temperatura media del mese più caldo superiore a 22 °C (classe Cfa - classificazione di Köppen). Il diagramma ombrotermico di Bagnouls e Gaussen, in Fig. 1, costruito a partire dai dati della stazione ARPAV di San Bellino (RO), mostra un andamento termopluviometrico di lungo periodo (1994-2022) con un solo mese arido (luglio). I tre mesi mediamente più piovosi sono maggio (70,2 mm), ottobre (76,5 mm) e novembre (75,5 mm). Le precipitazioni medie annue nel periodo considerato (1994-2022) ammontano a circa 676 mm, mentre 73 sono in media i giorni piovosi annui. I tre mesi più caldi sono giugno, luglio e agosto, con medie rispettivamente di 22,6, 24,6 e 24,0 °C (Fig. 1).

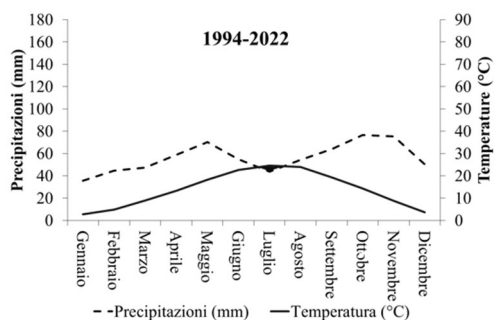


Fig.1 – Diagramma ombrotermico con le temperature medie mensili e le piogge mensili nel lungo periodo (1994–2022). L'area nera rappresenta il periodo secco.

Fig.1 – Ombrothermic diagram with average monthly temperatures and monthly rainfall in the long-term period (1994–2022). The black area represents the arid period.

La sperimentazione è stata condotta adottando un disegno sperimentale a split-plot, impiegando una monosuccessione di mais (FAO 700). Il campo è stato suddiviso in quattro parcelle principali di dimensioni simili (circa 70 × 595 m), due di esse sono state irrigate con “rotolone” e due con Rainger (Fig. 2). Ciascuna delle parcelle principali è stata a sua volta suddivisa in quattro repliche di dimensioni simili (circa 70 × 150 m), come schematizzato in Fig. 2. Nel complesso l'area utilizzata per la sperimentazione era 16,6 ha. La larga scala della prova, il fatto che quest'ultima sia stata condotta in condizioni reali di campo, e il quadro di una reciprocità di interazioni tra ricercatore e agricoltore danno al presente studio il connotato di *On Farm Experimentation*.

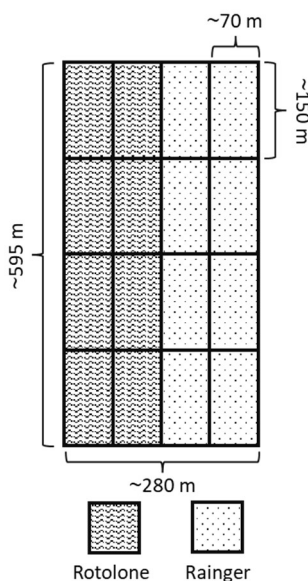


Fig.2 – Rappresentazione schematica del campo in cui è stata svolta la prova.

Fig.2 – Schematic representation of the field where the trial was carried out.

Nel sito sperimentale è stata posta, per l'intero triennio, una stazione agrometeorologica (Metos) in grado di monitorare in continuo e di registrare ogni ora i seguenti parametri:

radiazione solare, temperatura dell'aria, precipitazioni, punto di rugiada e bagnatura fogliare. La stazione agrometeorologica ha permesso di calcolare i gradi giorno accumulati dalla coltura applicando la seguente formula:

$$\sum \left(\frac{(T_{max} - T_{min})}{2} \right) - 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

dove Tmax è la temperatura massima giornaliera (°C), Tmin è la temperatura minima giornaliera (°C) e 10 °C è la temperatura cardinale minima. La formula è stata applicata con i seguenti vincoli:

- Se Tmax > 32 °C, allora Tmax = 32 °C.
- Se Tmin < 10 °C, allora Tmin = 10 °C.

La stazione agrometeorologica era collegata alla piattaforma *Climate FieldView™* che ne permetteva la consultazione in continuo da remoto. La stessa piattaforma ha permesso di consultare, a cadenza settimanale, le fotografie scattate dal satellite Sentinel 2. Tali foto, grazie a un algoritmo di calcolo messo a punto dalla piattaforma digitale, sono state trasformate in mappe che hanno fornito su larga scala indicazioni sulla biomassa fogliare, sulla fase fenologica e su eventuali stress subiti dalla coltura. Con questi dati è stato possibile stabilire il momento degli interventi irrigui e dimensionare il volume di adacquamento in modo da limitare gli stress idrici che avrebbero penalizzato la produzione. Prima delle semine, il contenuto idrico del suolo è stato misurato attraverso il metodo gravimetrico. In tabella 1 sono elencate le costanti idrologiche, calcolate a partire dai dati di tessitura, contenuto di sostanza organica e conducibilità elettrica, attraverso le equazioni raccolte da Saxton and Rawls (2006). L'efficienza d'uso dell'acqua (WUE) è stata espressa come massa secca di granella ottenuta con l'unità di volume d'acqua derivante dalla somma di precipitazioni e irrigazione (kg m⁻³). Per quanto riguarda la concimazione, ogni anno sono stati distribuiti in presemina 170 kg N ha⁻¹ e 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ sotto forma di pollina.

Tab.1 – Costanti idrologiche e altre caratteristiche chimico-fisiche del suolo.

Tab.1 - Hydrological constants and other chemical-physical characteristics of the soil.

Parametro	UM ^a	Valore
Punto di appassimento	% v	11,8
Capacità di campo	% v	24,8
Capacità idrica massima	% v	41,9
Acqua disponibile	% v	13,0
Sostanza organica	%	1,12
Conducibilità elettrica 1:2	dS m ⁻¹	0,35
Densità apparente	kg dm ⁻³	1,54

^aUM = unità di misura

Il letto di semina è stato preparato con un erpice rotante dotato di rullo packer che amminuta il terreno, preservandone l'umidità. La semina è stata effettuata a una profondità di 5 cm e con una distanza tra le file di 75 cm.

Date di semina e raccolta, insieme alla densità di semina per i tre anni sono elencate in Tab. 2.

Le raccolte sono state effettuate con una mietitrebbiatrice dotata di sensoristica per il controllo e il monitoraggio dei flussi di resa e umidità del prodotto raccolto. Le rese nei tre anni sono state stimate attraverso i dati rilevati dai sensori e rappresentati su una mappa restituita da *Climate FieldView™*.

Tab.2 – Date di semina e raccolta, insieme alla densità di semina nei tre anni di prova.

Tab.2 - Dates of sowing and harvesting, together with the sowing rate over the three test years.

Anno	Impianto	Data di semina	Data di raccolta	Durata ciclo (giorni)	Densità (cariossidi m ⁻²)
2020	Rotolone	06/04/2020	15/09/2020	162	9,1
	Rainger	06/04/2020	06/09/2020	153	9,1
2021	Rotolone	21/04/2021	22/09/2021	154	9,4
	Rainger	21/04/2021	21/09/2021	153	9,4
2022	Rotolone	13/04/2022	30/08/2022	139	9,2
	Rainger	13/04/2022	05/09/2022	145	9,2

Risultati e Discussione

Dai dati della stazione è emersa, dal 2020 al 2022, una sensibile diminuzione delle precipitazioni e un aumento delle temperature medie (Fig.3). I diagrammi ombrotermici relativi agli anni di prova mostrano la crescente aridità dal 2020 al 2022 e rappresentano evidenti differenze rispetto all'andamento termopluviometrico medio di lungo periodo (Fig. 1). Nel corso del triennio, le somme termiche dei mesi di giugno e luglio sono progressivamente cresciute (Tab. 3). Inoltre, il numero complessivo di giorni in cui la temperatura massima giornaliera ha superato i 32 °C, cioè la temperatura cardinale massima del mais (Sánchez et al., 2014), è decisamente aumentato dal 2020 al 2022 (Tab. 3). Questi dati, letti insieme, danno conto dello stress crescente cui la coltura è stata sottoposta nel corso degli anni. Nel 2020, il contenuto idrico del suolo prima della semina alla profondità compresa tra -10 e -60 cm (CISP 10-60) era pari a circa 125 mm (Tab. 4). A ciò si sono aggiunte le precipitazioni che, dalla semina alla raccolta, sono ammontate a 327 mm (Tab. 4), con luglio e agosto i mesi più piovosi (119 e 106 mm, rispettivamente). L'irrigazione fornita con "rotolone" è ammontata a 200 mm, mentre quella fornita con *Rainger* è stata di 177 mm (Tab. 4). Le perdite per evapotraspirazione misurate sugli appezzamenti irrigati con "rotolone" sono ammontate a poco meno di 800 mm, mentre quelle misurate sugli appezzamenti irrigati con *Rainger* sono state inferiori di circa 20 mm (Tab. 4). Il bilancio tra apporti e perdite è stato di -143 mm per il "rotolone" e praticamente lo stesso (-144 mm) per il *Rainger* (Tab. 4).

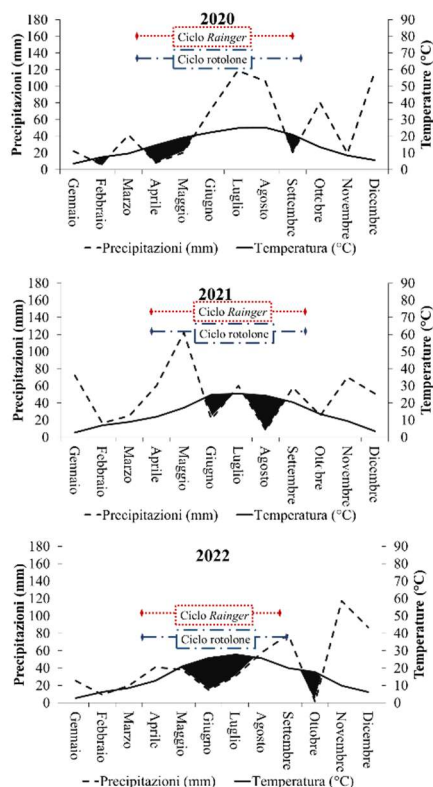


Fig.3 – Diagrammi ombrotermici dei tre anni di sperimentazione (2021, 2022, 2023). Le aree nere rappresentano i periodi secchi.

Fig.3 – Ombrothermic diagrams of the three test years (2021, 2022, 2023). The black areas represent the arid periods.

Nel 2021, il CISP 10-60 è stato uguale a quello dell'anno precedente (125 mm), ma le perdite per evapotraspirazione sono state più alte, sia dagli appezzamenti irrigati con "rotolone" (813 mm), sia da quelli irrigati con *Rainger* (840 mm) (Tab. 4). A ciò si aggiunga che le precipitazioni sono state sensibilmente più basse (264 mm). Il volume irriguo fornito alla tesi con "rotolone" è stato decisamente più alto di quello fornito alla tesi con *Rainger* (280 vs 180 mm), ciò ha avuto come risultato che il bilancio del 2021 tra apporti e perdite è stato praticamente lo stesso dell'anno precedente per il "rotolone" (-147 mm), mentre è stato decisamente più negativo per gli appezzamenti irrigati con il *Rainger* (-275 mm) (Tab. 4). Nel 2022, il CISP 10-60 è stato leggermente più basso degli anni precedenti (110 mm) a causa delle precipitazioni relativamente scarse dei mesi che hanno preceduto la semina. Inoltre, il ciclo culturale del 2022 è stato caratterizzato dal più basso valore di precipitazioni del triennio (173 mm) (Tab. 4). Per queste ragioni è stato necessario elevare i volumi irrigui stagionali sia per gli appezzamenti irrigati con "rotolone" (320 mm), sia per quelli irrigati con *Rainger* (251 mm). In entrambe le tesi, i valori di ETc registrati nel 2022 sono stati senza dubbio i più bassi del triennio, cioè 608 mm per la tesi con "rotolone" e 667 mm per la tesi con *Rainger*. Il bilancio che ne è risultato è stato di -5 mm per il "rotolone" e -134 mm per il *Rainger* (Tab. 4).

4). Il fatto che nell'annata con le più alte temperature siano stati riscontrati i valori più bassi di ETc testimonia, al di là dell'apparente contraddizione, lo stress delle piante che hanno chiuso gli stomi, fotosintetizzando di meno, quindi producendo meno foglie e di conseguenza meno superfici traspiranti.

Tab.3 – Gradi giorno distribuiti per mese e per anno. Nell'ultima riga è indicato il numero di giorni del ciclo di coltivazione di ciascun anno in cui la temperatura massima ha superato la temperatura cardinale massima di 32 °C.

Tab.3 – Growing degree days distributed by month and year. The last row indicates, year by year, in how many days of the cultivation cycle the maximum temperature exceeded the maximum cardinal temperature of 32 °C.

Variabile	UM	2020		2021		2022	
		Rotolone	Rainger	Rotolone	Rainger	Rotolone	Rainger
aprile	GG	182		63		98	
maggio	GG	296		247		348	
giugno	GG	377		432		451	
luglio	GG	452		473		492	
agosto	GG	465		430		457	472
settembre	GG	202	73	255	247	-	67
Totali stagionali	GG	1974	1845	1899	1891	1847	1929
T>32 °C	d	51	46	61	61	86	87

UM = unità di misura; GG = gradi giorno; d = giorni

Tab.4 – Apporti e perdite idriche espressi in mm durante i cicli di coltivazione nei tre anni di prova.

Tab.4 – Water sources and losses expressed in mm during the cultivation cycles in the three test years.

Anno	Apporti e perdite (mm)	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Totale	
2020	CISP 10-60 ^a	125						125	
	Precipitazioni	8	20	71	119	106	2	327	
	Rotolone	ETc	-39	-76	-175	-247	-195	-63	-794
		Irrigazione	0	0	80	80	40	0	200
	Rainger	ETc	-39	-99	-181	-247	-189	-18	-773
		Irrigazione	0	0	59	89	30	0	177
2021	CISP 10-60 ^a	125						125	
	Precipitazioni	16	122	21	60	8	36	264	
	Rotolone	ETc	-11	-67	-201	-231	-237	-67	-813
		Irrigazione	0	0	120	80	80	0	280
	Rainger	ETc	-11	-68	-229	-224	-230	-79	-840
		Irrigazione	0	0	72	54	54	0	180
2022	CISP 10-60 ^a	110						110	
	Precipitazioni	31	38	15	30	58	0	172	
	Rotolone	ETc	-20	-81	-162	-219	-125	-	-608
		Irrigazione	0	40	160	120	0	-	320
	Rainger	ETc	-22	-113	-177	-216	-133	-7	-667
		Irrigazione	0	44	103	89	15	0	251

^aCISP 10-60 = Contenuto idrico del suolo prima della semina alla profondità compresa tra -10 e -60 cm

In Fig. 4 sono illustrati gli effetti sulla resa del fattore "impianto irriguo" e del fattore "anno di coltivazione". Nella media del triennio, il Rainger, con 12,0 t SS ha⁻¹, ha favorito una resa superiore a quella ottenuta con il "rotolone" (11,0 t SS ha⁻¹). L'anno in cui è stata prodotta più granella per ettaro è stato il 2020, con 13,1 t SS ha⁻¹, è stato l'anno più produttivo, seguito dal 2021 e 2022.

In Fig. 5 sono illustrati gli effetti sulla WUE del fattore "impianto irriguo" e del fattore "anno di coltivazione". Nella media del triennio, il Rainger, con 2,3 kg m⁻³, ha dato luogo a una WUE superiore a quella ottenuta con il "rotolone" (1,9

kg m⁻³). La WUE più alta è stata registrata nel 2020, con 2,5 kg m⁻³, mentre nel 2021 e nel 2022 è stata pari rispettivamente a 2,0 kg m⁻³ e a 1,8 kg m⁻³. Mettendo in relazione, da un lato, i risultati della resa e della WUE e, dall'altro, i dati delle precipitazioni e delle somme termiche, si spiega bene l'effetto del fattore "anno di coltivazione". La diminuzione delle rese nel corso degli anni appare legata all'aumento dei giorni in cui le massime giornaliere sono state al di sopra della temperatura cardinale massima. I valori di ETc del 2022, i più bassi del triennio, testimoniano anch'essi lo stress subito dalle piante in quell'anno, che solo in parte è stato compensato dall'aumento del volume irriguo stagionale.

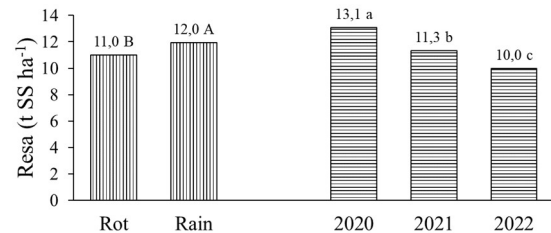


Fig.4 – Effetti sulla resa in granella dei due impianti di irrigazione (Rot=rotolone, Rain=Rainger) e dell'anno di coltivazione (2020, 2021, 2022). Lettere maiuscole differenti indicano differenze all'interno del fattore "impianto irriguo". Lettere minuscole differenti indicano differenze significative all'interno del fattore "anno".

Fig.4 – Effects on the grain yield of the two irrigation systems (Rot=rain gun, Rain=Rainger) and of the year of cultivation (2020, 2021, 2022). Different capital letters indicate differences within the "irrigation system" factor. Different lowercase letters indicate significant differences within the "year" factor.

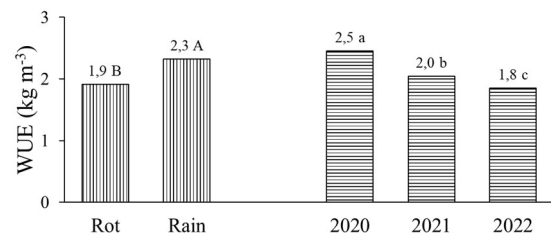


Fig.5 – Effetto sulla WUE dei due impianti di irrigazione (Rot=rotolone, Rain=Rainger) e dell'anno di coltivazione (2020, 2021, 2022). Lettere maiuscole differenti indicano differenze all'interno del fattore "impianto irriguo". Lettere minuscole differenti indicano differenze significative all'interno del fattore "anno".

Fig.5 – Effects on WUE of the two irrigation systems (Rot=rain gun, Rain=Rainger) and of the year of cultivation (2020, 2021, 2022). Different capital letters indicate significance within the "irrigation system" factor. Different lowercase letters indicate significance within the "year" factor.

Conclusioni

L'irrigazione effettuata con *Rainger* ha permesso di ottenere rese in granella più elevate rispetto all'irrigazione fatta con "rotolone" (12,0 vs 11,0 t SS ha⁻¹). Inoltre, i volumi irrigui forniti con il *Rainger* sono stati sempre inferiori a quelli forniti con il "rotolone". A tal proposito, il confronto tra le efficienze d'uso dell'acqua (WUE) rende ancora più evidente la differenza tra gli effetti prodotti dai due impianti irrigui (2,3 vs 1,9 kg m⁻³). D'altra parte, anche il fattore "anno di coltivazione" ha dato luogo a differenze significative sia sulla resa in granella, sia sulla WUE, con una progressiva diminuzione dell'una (da 13,1 a 10,0 t SS ha⁻¹) e dell'altra (da 2,3 a 1,9 kg m⁻³) dal 2020 al 2022. Tali variazioni sembrano rispecchiare l'andamento termopluviometrico nei tre anni, in cui sono state registrate precipitazioni annuali sempre più basse e temperature medie sempre più elevate.

Ringraziamenti

Studio condotto nell'ambito del Centro Nazionale Agritech, finanziato dall'Unione Europea – Next-Generation EU (PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.4 – D.D. 1032 17/06/2022, CN00000022). I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia solo quelli degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione europea o della Commissione europea; né l'Unione Europea né la Commissione Europea possono essere ritenute responsabili per essi.

Bibliografia

- ARPAV, 2023. <https://www.arpa.veneto.it/>, consultato il 26 aprile 2023.
- Dinar, Tieu, Huynh, (2019). Water scarcity impacts on global food production. *Global Food Security*, 23: 212-226.
- Pérez-Blanco, Hrast-Essenfelder, Perry, (2020). Irrigation technology and water conservation: A review of the theory and evidence. *Review of Environmental Economics and Policy*, 14:2: 216-239.
- Sánchez, Rasmussen, Porter, (2014). Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. *Global change biology*, 20(2), 408-417.
- Saxton, Rawls, (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 1569-1578.
- USDA Soil Survey Division Staff, (2017). *Soil Survey Manual (Agriculture Handbook No. 18)*. U.S. Department of Agriculture, 603 pp.

EFFETTO DELLO STRESS DA SICCIITÀ SULLE PIANTE AROMATICHE DELLA FAMIGLIA DELLE LAMIACEAE *EFFECT OF DROUGHT STRESS ON AROMATIC PLANTS FROM LAMIACEAE FAMILY*

Laura D'Andrea^{1*}

¹ CREA– Centro di Ricerca Agricoltura e Ambiente, via Celso Ulpiani 5, 70125, Bari
*laura.dandrea@crea.gov.it

Abstract

Aromatic plants are mainly grown for various plant parts (root, stem, leaves, flowers, fruits and seeds), which are used in perfumery and food industry. The growth and development of aromatic plants are affected globally due to increase abiotic stresses (light, temperature, water stress, heavy metals, salinity) by changes in climatic conditions. Drought stress is one of the most important environmental stresses affecting agricultural productivity. This review summarizes experimental studies about drought stress and its effects on plant growth and morphology and on the quantity and quality of essential oil of some aromatic plants from Lamiaceae family.

Parole chiave

Stress da siccità, Piante aromatiche, Timo, Maggiorana, Melissa

Keywords

Drought stress, Aromatic plants, Thyme, Marjoram, Lemon balm

Introduction

The Lamiaceae (Labiatae) is one of the largest families among the dicotyledons, being composed of more than 240 genera and with more than 6000 species. Many species belonging to the family being highly aromatic, due to the presence of external glandular structures that produce volatile oil (Bosabalidis and Tsekos, 1982; Corsi and Bottega, 1999; Giuliani and Maleci Bini, 2008; Ozkan, 2008).

This oil is important in pharmaceutical, flavouring, perfumery, fragrance, cosmetic and food industries (Sarac and Ugur, 2007).

The quantity and quality of the essential oil are not constant and vary depending on the environmental factors in addition to the genetic structure of the plants, to agricultural techniques and to post-harvest practices.

Those stress factors include water stress or flooding, high or low temperature, excessive or low light incidence, salinity and excessive or deficiency of nutrients, which hamper the physiological and biochemical efficiency of the plants (Chaves *et al.*, 2009; Pintó-Marijuan *et al.*, 2017).

Plants grow in dynamic environments and subsequently experience a wide range of stressful factors, which in turn affect their development, growth, yield and ultimately reproductive success (Crisp *et al.*, 2016).

One of the most significant abiotic stresses is drought which affect the growth and development of the plant by reducing the available water level in the soil (Xu *et al.*, 2010). According to global climate change projections, drought will be an increasing problem, especially in the world's Mediterranean climate zones (Bussotti *et al.*, 2013). Drought stress reduces yield of medicinal and aromatic plants by three main mechanisms (Aliabadi *et al.*, 2009):

- First, whole canopy absorption of incident photosynthetically active radiation may be reduced, either by drought-induced limitation of leaf area expansion, by temporary leaf wilting or rolling during periods of severe stress, or by early leaf senescence.
- Second, drought stress decreased the efficiency with which absorbed photosynthetically active radiation is used by the crop to produce new dry matter (the radiation use efficiency). This can be detected as a decrease in the amount of crop dry matter accumulated per unit of photosynthetically active radiation absorbed over a given period of time, or as a reduction in the instantaneous whole-canopy net CO₂ exchange rate per unit absorbed photosynthetically active radiation.
- Third, drought stress may limit grain yield of medicinal and aromatic plants by reducing the harvest index (HI). This can occur even in the absence of a strong reduction in total medicinal and aromatic plants dry matter accumulation, if a brief period of stress coincides with the critical developmental stage around flowering.

Drought stress affects essential oil percentage and essential oil content differently, because drought stress increases the essential oil percentage but decreases shoot biomass, therefore essential oil content decreases (Pradhan *et al.*, 2017).

This review summarizes experimental studies about drought stress and its effects on plant growth and morphology and on the quantity and quality of essential oil of some aromatic plants from Lamiaceae family.

Materials and Methods

The study was carried out on a review of international and national scientific publications to obtain much information about drought stress. Different scientific database [Google

Scholar platform, the Scopus scientific database, and the editorial portal (MPDI, Elsevier ecc.)] were used. From each publication, data and results regarding the effect of drought stress on plant growth and morphology and on the quantity and quality of essential oil of some aromatic plants from Lamiaceae family (*Thymus vulgare* L., *Majorana hortensis* Moench. and *Melissa officinalis* L.) were extrapolated.

Results and Discussion

Thyme (Thymus vulgare L.)

Thyme (Thymus vulgaris L.) is a perennial subshrub and is cultivated in many countries (Hornok, 1992). It is important as a crude drug in the production of plant medicines, due to its bactericidal and fungicidal effects. The dried herb of this plant is widely used as flavoring material in the canning industry. Its essential oil is also widely used by the cosmetic industry (Hornok, 1992) and can be considered as new material in the food and cosmetic industry (Jordan *et al.*, 2006). The highest oil yield and its relative concentration were obtained during the vegetative stage of growth (Jordan *et al.*, 2006).

Aziz *et al.* (2008) evaluated the effect of soil type (sand, clay loam and calcareous soil) and four irrigations intervals (3, 5, 7 and 10 days) on plant yield, essential oil yield and its main constituents of *Thymus vulgaris* plants grown in Egypt. The plants received irrigation every 3 days recorded significant increase in dry weight of herb per plant as compared with plants irrigated every 5, 7 and 10 days (Fig. 1). Plants irrigated every 10 days gave the highest relative percentage of thymol, which reached 71.32, 47.71 and 50.68 % in sand, clay loam and calcareous soil, respectively (Tab. 1). The rate of transformation of *p*-cymene to thymol is higher under stress conditions. The percentage of carvacrol of stressed plants increased in sand and clay loam soil, while decreased in calcareous soil.

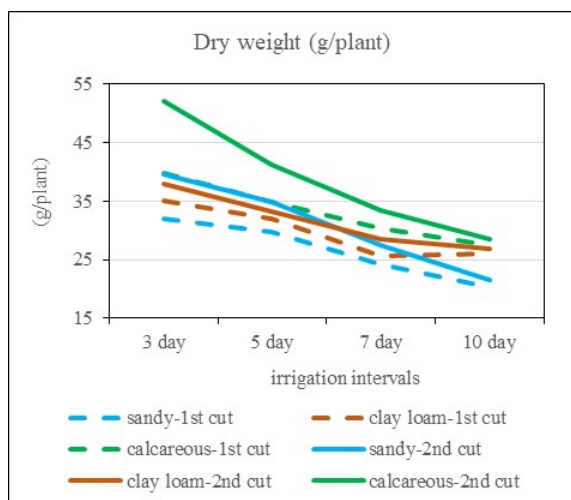


Fig.1 - Peso secco delle piante di *Thymus vulgaris* (adattato da Aziz *et al.*, 2008).

Fig.1 - Dry weight of *Thymus vulgaris* plants (adapted from Aziz *et al.*, 2008).

Tab.1 - Effetto di quattro intervalli di irrigazione sulla composizione dell'olio essenziale di *Thymus vulgaris* (adattato da Aziz *et al.*, 2008).

Tab.1 - Effect of four irrigations intervals on the essential oil composition of *Thymus vulgaris* (adapted from Aziz *et al.*, 2008).

Compound	Irrigation intervals			
	3 day	5 day	7 day	10 day
sandy - soil				
Thymol	39.49	44.24	44.20	71.32
p-Cymene	34.93	32.13	30.84	3.72
Carvacrol	1.00	0.85	0.24	2.10
γ -Terpinene	2.88	2.47	2.73	1.36
clay loam - soil				
Thymol	43.30	42.15	45.94	47.71
p-Cymene	34.60	32.77	27.55	26.29
Carvacrol	1.04	0.21	0.18	0.23
γ -Terpinene	1.52	4.12	5.39	1.98
calcareous - soil				
Thymol	47.87	39.67	40.35	50.68
p-Cymene	24.62	33.36	32.65	26.78
Carvacrol	1.15	0.15	0.22	0.09
γ -Terpinene	3.23	5.70	4.64	2.71

Khazaie *et al.* (2008) carried out an experiment with three irrigation intervals (7, 14, and 21 days) in two years (2003 and 2004) in the semi-dry region of Khorasan in Iran, where annual rainfall is about 250mm in the north, while is 110mm in the south. The results showed that irrigation intervals did not change total harvested herbage biomass and oil production of thyme (*Thymus vulgaris* L.).

Németh-Zámbori *et al.* (2016) studied the responses on drought stress concerning yield, essential oil (EO) content and composition. The plants were grown at 40% level of soil water capacity (SWC) (control) and compared to the ones growing at 70% SWC (stressed). Lower soil water content significantly decreased the biomass production (from 40.4 to 12.0 g/plant from control to stressed respectively) and essential oil concentration (from 4.758 to 4.223 ml/100g DW from control to stressed respectively).

The concentrations of thymol and carvacrol significantly decreased in drought stress by 15.5% (from 62.5% in control to 47.0% in stressed) and by 1.1% (from 4.7% in control to 3.5% in stressed).

The percentages of terpinene-type compounds (α -terpinene, α -terpinolene, terpinen-4-ol, α -terpineol, α -terpinyl-acetate) were present only in small quantities, while p-cymene and γ -terpinene as precursors of thymol and carvacrol

respectively increased significantly by 7.2% (from 12.6% in control to 19.8% in stressed) and 9.6% (from 8.7% in control to 18.3% in stressed) respectively.

Alavi-Samani *et al.* (2013) used three irrigation levels: 100%, 75% and 50% field capacity, (irrigated in field capacity or control, slight and mild drought stress respectively). The results showed that thymol and carvacrol content increased while that of p-cymene and γ -terpinene decreased under drought stress conditions (Fig. 2).

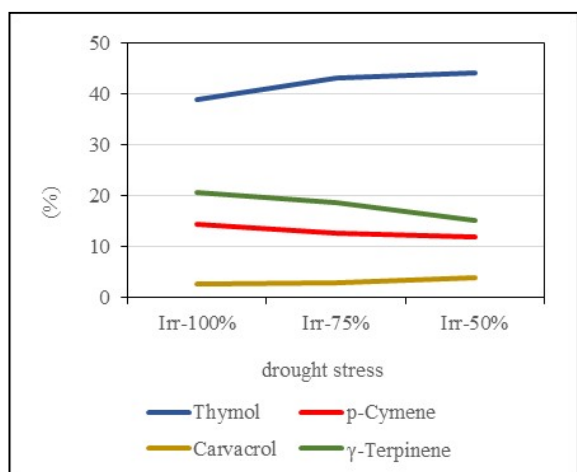


Fig.2 - Principali componenti dell'olio essenziale di *Thymus vulgaris* (adattato da Alavi-Samani *et al.*, 2013).

Fig.2 - The main compounds of essential oil of *Thymus vulgaris* (adapted from Alavi-Samani *et al.*, 2013).

Marjoram (*Majorana hortensis* Monch.)

Marjoram (or sweet marjoram) (*Origanum majorana* L. syn. *Majorana hortensis* Moench) is a perennial herbaceous plant native to Cyprus and the Eastern Mediterranean area (Ietswaart, 1980). In the food industry, marjoram is mainly used as a spice in sausages, but its use in baked goods, processed vegetables, condiments, soups, snack foods and gravies is also reported (Padulosi, 1997).

Németh-Zámbori *et al.* (2016) studied the responses on drought stress concerning yield, essential oil (EO) content and composition. The plants were grown at 40% level of soil water capacity (SWC) (control) and compared to the ones growing at 70% SWC (stressed).

Lower soil water content significantly decreased the biomass production (from 41.0 to 21.3 g/plant from control to stressed respectively) and essential oil concentration (from 2.134 to 1.755 ml/100g DW from control to stressed respectively).

The percentages of sabinene-type compounds (sabinene, trans-sabinenehydrate, cis-sabinene-hydrate, dehydro-sabina-ketone, trans-sabinene-hydrate-acetate, trans-sabinyl-acetate) represented 44.1% of the EO of stressed samples, while they take 46.1% of the control ones (Tab. 2).

The percentages of terpinene-type compounds (α -terpinene, γ -terpinene, α -terpinolene, terpinen-4-ol, α -terpineol, γ -terpineol) were 39.0% of the EO of stressed samples, while the control plants showed only 27.5% (Tab. 2). The

percentages of the major sesquiterpenes decrease (from 7.8% to 1.8%) in the EO of the stressed plants.

The plants of marjoram grown on other unfavorable conditions like salt stress (Baatour *et al.*, 2010) and short days (Circella *et al.*, 1995) also stimulate the increase of terpinene-type compounds while decrease the concentration of sabinene-type compounds.

Tab.2 - Effetto dei trattamenti sulla composizione dell'olio essenziale di *Majorana hortensis* (adattato da Németh-Zámbori *et al.* (2016).

Tab.2 - Effect of the treatments on the essential oil composition of *Majorana hortensis* (adapted from Németh-Zámbori *et al.* (2016).

	Control	Stressed
<u>sabinene-type compounds</u>		
Sabinene	3.3	2.6
Trans-sabinene-hydrate	7.5	7.3
Cis-sabinene-hydrate	31.8	29.8
Dehydro-sabina-ketone	1.0	0.9
Trans-sabinene-hydrate-acetate	2.3	3.4
Trans-sabinyl-acetate	0.2	0.1
Total	46.1	44.1
<u>terpinene-type compounds</u>		
α -Terpinene	2.8	3.5
γ -Terpinene	6.0	9.0
α -Terpinolene	1.2	1.6
Terpinen-4-ol	13.0	21.6
α -Terpineol	4.3	3.1
γ -Terpineol	0.2	0.2
Total	27.5	39.0
<u>Sesquiterpene hydrocarbons</u>		
β -Caryophyllene	3.8	1.0
α -Humulene	0.1	0.1
Bicyclogermacrene	3.8	0.8
Total	7.7	1.8

Lemon balm (*Melissa officinalis* L.)

Lemon balm (*Melissa officinalis* L.) is an aromatic perennial subshrub and originates from the eastern Mediterranean and western Asia region and is nowadays naturalized and cultivated in many countries (Tutin *et al.*, 1972).

It has a long tradition of use as a spice, medicinal plant and herbal tea with mild sedative properties. Also, the use in the food industry is of interest due to the antimicrobial and antioxidant properties of the plant (Moradkhani *et al.*, 2010). Due to hydrosol its essential oil and the strongly

scented leaves are also used in perfumes and natural cosmetics (Moradkhani *et al.*, 2010).

Ozturk *et al.* (2004) studied the effects of water deficit (0, 12.5, 25.0, 37.5 and 50.0 %) on some yield components and essential oil content. The results showed that lemon balm was highly tolerant against water stress. They reported that essential oil ratio affected positively by increasing water deficit. Water deficiency increased essential oil from 0.12 to 0.16%. Dry yield under water deficit varied from 13.05 to 19.20 g per plant. Reduction in yield was not statistically significant till 25 % water deficiency.

Abbaszadeh *et al.* (2009) observed the effects of irrigation levels (100%, 80%, 60%, 40% and 20% Field Water Capacity=FC) on morphology, yield and essential oil content of balm under field conditions at Karaj in Iran.

Irrigation levels did not provide significant effects on number of lateral stems. Results showed that highest shoot yield and plant height belonged to treatment non stress (100% FC) and highest stem diameter was related to 20%FC. The essential oil percent increase in treatments more stress (40% and 20%FC) (Fig. 3) and highest essential oil yield was achieved on 40%FC. They concluded that moderate drought stress is beneficial for balm essential oil.

Manukyan (2011) investigated the impact of drought stress on herbal yield, content and composition of essential oil (EO) of lemon balm plants grown under soilless greenhouse cultivation. The irrigation of plants was performed via tension switch sensors providing substrate moisture of 50, 125, 250 hPa. High drought stress negatively influenced the productivity of herbs, (20.9, 15.7 and 15.6 g/plant in dry weight for substrate moisture of 50, 125, 250 hPa respectively). High drought stress (250 hPa) induced a higher amount of EO in lemon balm (0.068 %).

The main compounds of EO increase under drought stress: geranial (35.00-41.23-42.18% for substrate moisture of 50, 125, 250 hPa respectively) and neral (26.58-31.38-32.52% for substrate moisture of 50, 125, 250 hPa respectively) (Fig.4).

Conclusions

Several strategies are used to increase plant stress tolerance (Punetha *et al.*, 2022): biological method (it includes the use of microorganisms like endophytes), chemical treatment (it uses chemical agents for seed priming), biotechnological approach (it modifies the expressions of genes) and plant nanobionic treatment (it investigates how nanoparticles interact with plant systems to produce novel functions).

Secondary metabolites (SMs) are synthesized by medicinal and aromatic plants due to plant adaptation in response to abiotic stresses (Pitchersky and Gang, 2000).

From the present review it can be concluded that the modification in the quantity and quality of secondary metabolites synthesized by plants during drought stress conditions varies from plant to plant.

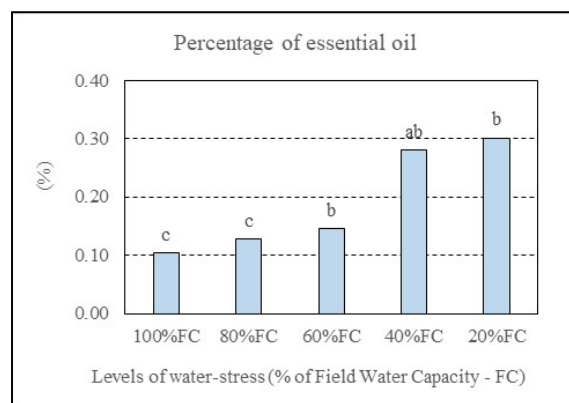


Fig.3 - Percentuale di olio essenziale a diverso stress idrico nella *Melissa officinalis* (adattato da Abbaszadeh *et al.*, 2009).

Fig.3 - Percentage of essential oil at different water stress in *Melissa officinalis* (adapted from Abbaszadeh *et al.*, 2009).

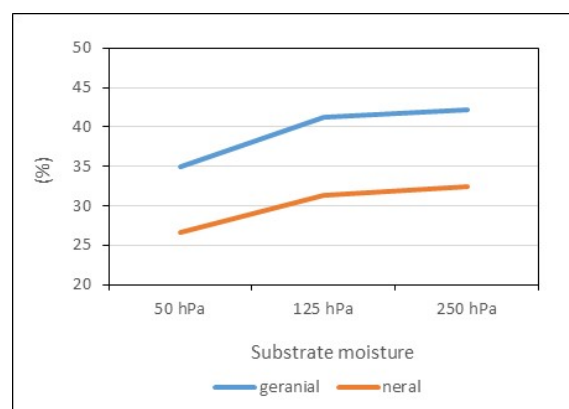


Fig.4 - Principali componenti dell'olio essenziale di melissa (adattato da Manukyan, 2011).

Fig.4 - The main compounds of essential oil of lemon balm (adapted from Manukyan, 2011).

Acknowledgments

This study was financially supported by the Project PON-Water4AgriFood – “Miglioramento delle produzioni agroalimentari mediterranee in condizioni di carenza di risorse idriche” (Progetto ARS01_00825 approvato con DD n. 1619 del 9 agosto 2019).

References

- Abbaszadeh B., Aliabadi F.H., Morteza E., 2009. Effects of irrigation levels on essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.). American- Eurasian J. Sustain. Agric., 3: 53-56.
- Alavi-Samani S.M., Pirbalouti A.G., Kachouei M.A., Hamdi B., 2013. The influence of reduced irrigation on herbage, essential oil yield and quality of *Thymus vulgaris* and *Thymus daenensis*. J. Herbal Drugs, 4: 109–113.
- Aliabadi F.H., Valadabadi S.A.R., Daneshian J., Shiranirad A.H., Khalvati M.A., 2009. Medicinal and aromatic plants farming under drought conditions. J. H. Forest., 1: 86-92.
- Aziz E.E., Hendaw S.T., El Din E., Omer E.A., 2008. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield, and constituents of *Thymus vulgaris* plant. American-Euroasian J. Agric Environ. Sci., 4: 443–450.
- Baatour O., Kaddour R., Wannes W.A., Lachaal M., Marzouk B., 2010. Salt effects on growth, mineral nutrition, essential oil yield and composition of marjoram (*Origanum majorana* L.). Acta Physiol. Plant., 32: 45–5.
- Bosabalidis AM, Tsekos I., 1982. Glandular scale development and essential oil secretion in *Origanum dictamnus* L. Planta, 156:496–504.
- Bussotti F., Ferrini F., Pollastrini M., Fini A., 2013. The challenge of Mediterranean sclerophyllous vegetation under climate change: from acclimation to adaptation. Environ Exp Bot, 103:80–98.
- Chaves M.M., Flexas J., Pinheiro C., 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Ann. Bot. 103: 551–560.
- Circella G., Franz C., Novak J., Resch H., 1995. Influence of day length and leaf insertion on the composition of marjoram essential oil. Flavour Fragr. J., 10(6): 371–374.
- Corsi G., S. Bottega. 1999. Glandular hairs of *S. officinalis*: new data on morphology localization and histochemistry in relation to function. Ann. Bot. 84: 657-664.
- Crisp P.A., Ganguly D., Eichten S.R., Borevitz J.O., Pogson B.J., 2016. Reconsidering plant memory: intersections between stress recovery, RNA turnover, and epigenetics. Sci. Adv. 2 (2), e1501340.
- Giuliani C., Maleci Bini L., 2008. Insight into the structure and chemistry of glandular trichomes of Labiatae, with emphasis on subfamily Lamioideae. Plant Systematic and Evolution, 276: 199-208.
- Hornok L., 1992. Cultivation and Processing of Medicinal Plants. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Ietswaart J. H., 1980. A taxonomic revision of the genus *Origanum* (Labiatae). In Leiden Botanical Series, (Vol. 4). The Hague: Leiden University Press..
- Jordan M.J., Martinez R.M., Goodner K.L., Baldwin E.A., Sotomayor A., 2006. Seasonal variation of *Thymus hyemalis* Lange and Spanish *Thymus vulgais* L. essential oils compositions. Ind. Crops Prod. 24: 253–263.
- Khazaie H.R., Nadjafi F., Bannayan M., 2008. Effect of irrigation frequency and planting density on herbage biomass and oil production of thyme (*Thymus vulgaris*) and hyssop (*Hyssopus officinalis*). Ind. Crops Prod., 27: 315–321.
- Manukyan A., 2011. Effect of growing factors on productivity and quality of lemon catmint, lemon balm and sage under soilless greenhouse production: I. Drought stress. Med. Arom. Plant Sci. Biotechnol., 5: 119–125.
- Moradkhani H., Sargsyan E., Bibak H., Naseri B., Soddat-Hosseini M., Fayazi-Barjin A., Meftahizade H., 2010. *Melissa officinalis* L., a valuable medicinal plant: A review. J. Med. Plants Res. 4: 2753–2759.
- Németh-Zámbori É, Szabó K., Pluhár Z., Radácsi P., Inotai K., 2016. Changes in biomass and essential oil profile of four Lamiaceae species due to different soil water levels. J. Essent. Oil Res. 28: 391–399
- Ozkan M., 2008. Glandular and eglandular hairs of *Salvia recognita* Fisch. & Mey. (Lamiaceae) in Turkey. Bangladesh Journal of Botany, 37: 93-95.
- Ozturk A., Unlukara A., Ipek A., Gurbuz B., 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). Pak. J. Bot., 36:787-792.
- Padulosi S., 1997. Oregano. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 14. Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano, 8-12 May 1996, CIHEAM, Valenzano (Bari), Italy. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Pintó-Marijuan M., Cotado A., Fleta-Soriano E., Munné-Bosch S., 2017. Drought stress memory in the photosynthetic mechanisms of an invasive CAM species, *Aptenia cordifolia*. Photosynth. Res., 131: 241–253.
- Pitchersky E., Gang D.R., 2000. Genetics and biochemistry of secondary metabolites in plants: An evolutionary perspective. Trends Plant Science, 5: 459-445.
- Pradhan J., Sahoo S.K., Lalotra S., Sarma R.S., 2017. Positive impact of abiotic stress on medicinal and aromatic plants. International Journal of Plant Sciences, 12(2):309-313.
- Punetha A., Kumar D., Suryavanshi P., Padalia R.A., Katanapalya Thimmaiah V., 2022. Environmental abiotic stress and secondary metabolites production in medicinal plants: a review. Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi) 2022, 28 (3):351 – 362.
- Sarac N., Ugur A., 2007. Antimicrobial activities and usage in folkloric medicine of some Lamiaceae species growing in Mugla, Turkey. EurAsia J. Bio. Sci., 1: 28-34.
- Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.A., 1972. Flora Europaea; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1972; Volume 3: 162–163.
- Xu Z., Zhou G., Shimizu H., 2010. Plant responses to drought and rewatering. Plant signaling and behavior, 5(6):649-654.

EFFETTO DELLO STRESS IDRICO SULLA RESISTENZA COLTURALE DI UN ULIVETO A SCALA SUB-GIORNALIERA

THE EFFECT OF WATER STRESS ON CANOPY RESISTANCE OF OLIVE ORCHARD AT THE SUB DAILY TIME SCALE

Maria Roberta Bruno^{1*}, Rossana Monica Ferrara¹, Mariagrazia Piarulli¹, Gabriele De Carolis¹, Pasquale Campi¹, Anna Francesca Modugno¹, Liliana Gaeta¹, Nicola Martinelli¹, Valerio Minorenti¹, Pietro Maggi¹, Alessandro Ciurlia¹, Alessandro Azzolini¹, Gianfranco Rana¹

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

*mariaroberta.bruno@crea.gov.it

Abstract

The biological regulation of the water transfer from the soil-plant system toward the atmosphere can be expressed by the canopy resistance function (r_c). For an olive orchard cultivated in Mediterranean region we found that, depending on water conditions, plants tend to reduce stomatal aperture in the afternoon. Vapour pressure deficit (VPD) and net/global radiation (R) are linked to the r_c by hysteretic functions at sub daily time scale. The diurnal hysteresis effect is the result of the compound abiotic and biotic factors, which result in a change in transpiration, through changes in r_c . The magnitude of hysteresis is due to evaporative demand limitation characterized by a time lag between morning and afternoon cycles of R and VPD. The hysteretic loop can be used to improve the r_c modeling.

Parole chiave

Uliveto super-intensivo, isteresi a loop, irrigazione a deficit controllato, resistenza critica, modello di Katerji-Perrier

Keywords

Super-intensive olive orchard, hysteretic loop, regulated deficit irrigation, critical resistance, Katerji-Perrier model

Introduction

The most accurate and used evapotranspiration (ET) models are based on the Penman-Monteith (P-M) approach which was deduced by well-known physical laws (Katerji and Rana, 2011). The analogy between the Ohm law and the flux of scalars (water, CO₂, heat) is particularly effective; at field scale this electric analogy is formally expressed by two resistances (Monteith, 1965): the aerodynamic (r_a) and the canopy (r_c) resistance. While r_a is only function of the wind speed (V) and depends on the canopy architecture, r_c is much more complex because it simulates the biological regulation of the crop transpiration (T), and has relation with many compartments of the soil-crop-atmosphere system. The most accurate models of r_c are based on strong relationships among climates and biophysical variables (Katerji and Rana, 2011; Pan et al., 2020). Here, the attention is focused on the hourly semi-empirical model first proposed by Katerji and Perrier (1983, KP), where r_c is function of standard climate variables, the crop water status and requires a calibration. The KP model was successfully tested in a great number of crops, including tree ones and olive orchards (see Margonis et al., 2018 for a review). Chen et al. (2022) showed that the calibration /parametrization procedure is the main source of uncertainty and greatly affects the ET calculation accuracy. In this study we propose a way to calibrate the r_c based on the concept that, depending on the crop water status, the plants tend to reduce the stomatal opening in the afternoon, to avoid excessive loss of water; thus, the vapour pressure deficit (D) and the radiation (both solar R_g and net R_n) are linked to loop-type functions (hysteresis see for example Xu

et al., 2022). The diurnal hysteresis is the combined effect of biotic and abiotic factors on the stomatal regulation (Chen et al., 2022); furthermore, Xu et al. (2022) demonstrated that the loop amplitude varies with the ecosystem and the climates and can be thought as the constraints imposed by the time lag of the $R_{n/g}$ and D cycles to the evaporative demand of the atmosphere.

The super-intensive cultivation system (SHD) together with the regulated deficit irrigation (RDI) is a suitable way to have sustainable productions with water saving for olive orchards under arid and semi-arid climates of the Mediterranean regions (Fernández et al., 2013; Rosecrance et al., 2015).

The main objective of this study is to try an accurate calibration of the KP canopy resistance in a SHD olive orchard. The reference r_c , use to test the model was determined by inverting the P-M formula for the crop transpiration, where T was measured by the sap flow Thermal Dissipation method (TDM). r_c has been parametrized by mean a calibration where the sub-daily hysteresis in function of R_n and D plays a fundamental role.

Material and Methods

Although the trial has been carried out during, three years (March 2019 - February 2022), here we present the data relative to the summer period (1 June – 30 September) of each growth season. The olive orchard was cultivated in the experimental farm managed by the University of Bari, Italy (41° 01' N; 16° 45' 112 E; 110 m a.s.l.). The clay-sand soil is shallow (0.5 m). The site is submitted to Mediterranean semi-arid climate.

The olive trees (cv. Arbosana) were planted in the 2006 year; according to the SHD system, with 4.0 m × 1.5 m spacing (1667 trees ha⁻¹). The routine operations are described by Camposeo and Godini (2010). Two plots of 180 m² with 35 trees each were submitted to two irrigation treatments: full irrigation (FI) and RDI, applied during the pit hardening growth phase. During this phase the irrigation was interrupted for one month per season (19/07-20/08/2019; 15/07-15/08/2020; 14/07-14/08/2021). The water was supplied following the 100% ET restoring method, as recommended by the FAO56 method (Allen et al., 1998). The plots were irrigated with driplines, where the emitters (2.5 L h⁻¹), 0.6 m apart.

The olive actual transpiration (T) was measured by the TDM method (Granier, 1987), following the procedure described by in Rana et al. (2020), in three plants per treatment, following the frequency distribution of the trunk diameters, selected to be representative of the whole stand. Standard gauges were used (SFS2 Type M, UP, Steinfurt, Germany), installed at 0.30-0.40 m from the surface, at the north face and suitably protected from reflecting material; data were acquired continuously by two dataloggers (CR10X, Campbell Scientific, Utah, USA), every 10 s, and stored as average at 10 minutes intervals. The TDM requires specific calibration and corrections for both azimuthal and transversal gradients, and for the damages caused by the trunk wounds by the probes set up. Thus, the procedures described in Pataki et al., (2011), Shinohara et al., (2013), Wiedemann et al. (2016) and Zhou et al. (2017) were followed. The reference r_c (sm⁻¹) was determined by inverting the Penman-Monteith formula

$$\lambda T_c = \frac{\Delta Q + \rho c_p D / r_a}{\Delta + \gamma (1 + \frac{r_c}{r_a})} \quad (1)$$

where Δ is the slope of the saturation pressure deficit versus temperature function in kPa °C⁻¹; Q is the available energy in W m⁻²; ρ is the air density in kg m⁻³; c_p is the specific heat of moist air in J kg⁻¹ °C⁻¹; D is the vapour pressure deficit in kPa; γ is the psychrometric constant in kPa °C⁻¹; r_a is the aerodynamic resistance in s m⁻¹; r_c is the bulk canopy resistance in s m⁻¹ and λ is the latent heat of evaporation in J kg⁻¹. r_a was calculated following Rana et al. (2020). The “critical resistance”, r^* is

$$r^* = \frac{\Delta + \gamma \rho c_p D}{\Delta \gamma Q} \quad (2)$$

thus, the Eq. (1) can be written in a symmetric form as

$$\lambda T_c = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q \frac{1 + [\gamma / (\Delta + \gamma)] (r^* / r_a)}{1 + [\gamma / (\Delta + \gamma)] (r_c / r_a)} \quad (3)$$

In the KP model r_c is

$$\frac{r_c}{r_a} = a \frac{r^*}{r_a} + b \quad (4)$$

with a and b species-specific calibration coefficients (Katerji and Rana, 2006).

The meteorological variables were directly measured in the olive orchard by a standard station. The crop water status was determined by the stem water potential (Ψ_s, kPa) around midday (11:00 - 13:00 solar time), by the Scholander chamber, on 10 fully developed leaves (5 east faced and 5 west faced).

Results and Discussion

The three experimental periods were characterized by very contrasted weathers, with dry summers in 2019 and 2021 years, and a very wet summer in 2020 year, with a few extremely rainy events. The mean air temperature was 18.1, 16.4 and 17.0 °C in 2019, 2020 and 2021, respectively, which was consistently higher than the average temperature of the last three decades (15.6°C). Moreover, a great heat wave crossed the experimental field between July and August 2021, during the RDI period, with diurnal mean of 34 °C and peaks of 42 °C. In this period, also D reached unusually high values for the region.

In the following, the relationships among weather, crop water status, and transpiration for the measurements taken in 2019 are analyzed to demonstrate the calibration of the KP rc model. The measurement collected in 2020 and 2021 seasons will be used to test the proposed r_c model, through the measured olive orchard transpiration.

In figure 1, the hourly trends of actual T and r_c are illustrated for all available data acquired in the experimental period of 2019 year. Transpiration shows the main peak value in the morning, a couple of hours before midday, and a secondary peak value in early afternoon. The T trends are similar for both treatments with lower values in the afternoon for RDI compared to FI. Similarly, the trends of r_c show a decrease in correspondence of the highest T values. These values and dynamics are like those found by Tognetti et al. (2009) for an olive orchard grown in southern Italy and submitted to water supply constraints. The clear r_c double peaks trend (morning and afternoon) suggests a different water behaviour of the crop during the day at same atmospheric thermodynamical conditions (Hernandez-Santana et al., 2016).

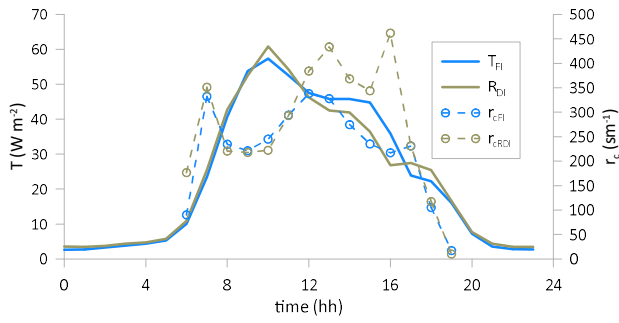


Fig.1 - Hourly trends of measured transpiration (T) and canopy resistance (r_c) in 2019 year for full irrigated (FI) and regulated deficit irrigation (RDI); standard deviations were not graphed for clarity.

Fig.1 - Andamento orario di traspirazione (T) e resistenza colturale (r_c) misurati nel 2019 nel trattamento di irrigazione standard (FI) e a deficit controllato (RDI); le deviazioni standard non sono riportate per chiarezza.

In figure 2, the dynamics of r_c in function of vapour pressure deficit (D , bottom panel) and available energy (Q , upper panel) is shown for both treatments, in three days of the first experimental period (2019), characterized by different water status: the first one is before the irrigation interruption in RDI (2 July, $\Psi_{FI}=-1.31$ and $\Psi_{RDI}=-1.34$ kPa); the second one is in the period of irrigation withholding (8 August, $\Psi_{FI}=-1.22$ and $\Psi_{RDI}=-2.21$ kPa); the third one is after the irrigation restart (29 August, $\Psi_{FI}=-0.85$ and $\Psi_{RDI}=-0.97$ kPa). In figure 2, the time flow is also indicated, thus, in general, r_c values increase from early morning until the hottest hours as D and Q increase, and then they decrease following a different path until late afternoon, showing in any case a clear hysteretic loop. The difference in loops amplitude is linked to the olive tree water status. When trees are in good water conditions (stem water potential between -0.85 and -1.34 kPa. Tognetti et al., 2009) the hysteretic loops have small amplitudes for both treatments. However, when the olive trees are in limited water stress ($\Psi_{RDI}=-2.21$ kPa), the hysteretic loop is very large, with a mean difference of 786 s m^{-1} at the same values of D and Q . The illustrated trends reflect the behaviour of stomatal regulation in the leaves in the stomatal regulation with respect to change in the thermodynamical conditions of the local atmosphere surrounding the crowns of the olive trees, which are induced by a time lag between sub-diurnal Q and D (Zhang et al., 2014; Xu et al., 2022). Hence, in this case the limitation of soil moisture supply amplifies the hysteresis through the increasing of canopy resistance in response to the increase of the transpiration drivers (D and Q), supporting the insights illustrated by Xu et al. (2022) for several species at global level.

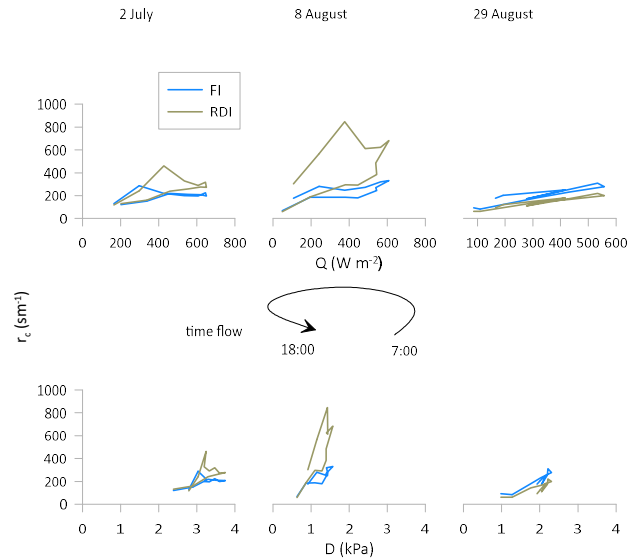


Fig.2 – Sub-diurnal hourly canopy resistance values (r_c) against vapour pressure deficit (D) and available energy (Q), for FI and RDI treatments, in three days in 2019 characterized by different olive tree water conditions (on 8 August the RDI trees had the maximum negative stem water potential $\Psi=-2.21$ kPa).

Fig. 2 – Valori orari di resistenza colturale (r_c) a scala sub-diurna in funzione di deficit di pressione di vapore (D) ed energia disponibile (Q), nei trattamenti FI e RDI, in tre giorni del 2019 caratterizzati da differenti condizioni idriche degli ulivi (l'8 agosto gli ulivi RDI presentavano il massimo valore negativo di potenziale del fusto $\Psi=-2.21$ kPa).

If all available r_c values are related to the correspondent values of D and Q (in Fig. 3 an example is illustrated for the RDI treatment) can be demonstrated that three sub-diurnal periods can be distinguished (7:00-12:00, 13:00-16:00, 17:00-18:00). The found difference in the relationships among r_c and weather variables at sub-diurnal time scale for different crops water conditions suggest that the calibration of the presented r_c model (Eq. 4), can be made by considering these relations.

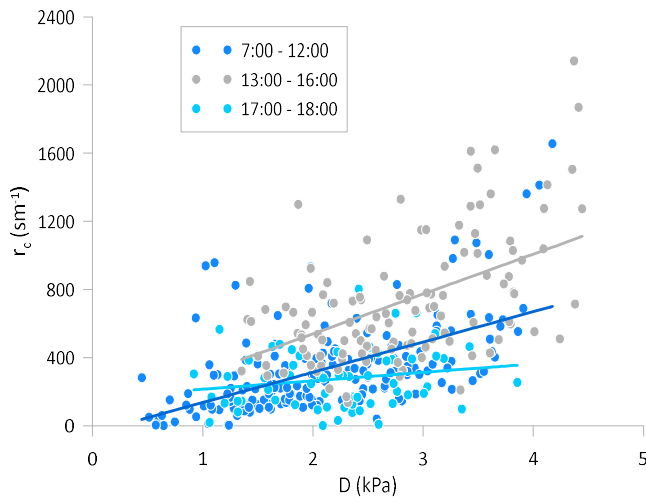


Fig.3 – r_c versus D in RDI treatment, in the three sub-diurnal periods; all available values are reported.

Fig.3 – r_c verso D nel trattamento RDI, nei tre periodi sub-diurni individuati; tutti i dati disponibili sono indicati.

When calibrating the r_c KP model, by searching the linear relationships between the ratios r_c/r_a and r^*/r_a (figure 4, the x values are binned at $5 \cdot 10^{-6}$ intervals), it becomes evident that the calibration coefficients are quite different among the three selected sub-diurnal periods (see summary in Tab. 1).

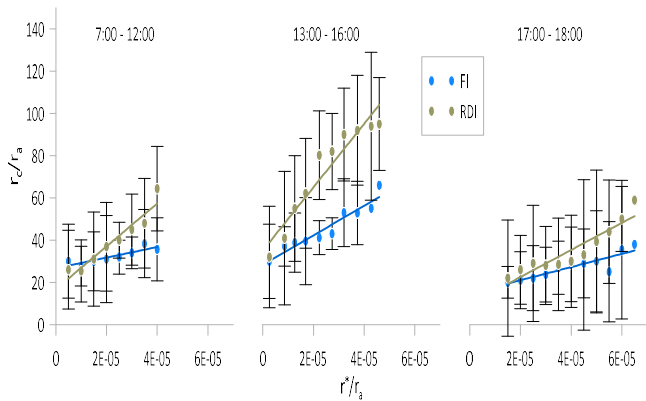


Fig.4 – calibration of KP r_c model, r_c/r_a versus r^*/r_a (Eq. 4) using all available data in 2019, for both the treatments (FI and RDI) in three sub-diurnal periods; the x values are binned as indicated in the text.

Fig.4 – calibrazione del modello KP di r_c , r_c/r_a verso r^*/r_a (Eq. 4) utilizzando tutti i dati disponibili nel 2019, per ambedue i trattamenti (FI e RDI) nei tre periodi sub-diurni indicati; i valori x sono raggruppati in bin come indicato nel testo.

Tab.1 – slope (a), intercept (b) and coefficient of determination (R^2) of the calibration linear relationship expressed by Eq. (4), for FI and RDI treatments in the three sub-diurnal periods.

Tab.1 – pendenza (a), intercetta e coefficiente di determinazione (R^2) della funzione lineare di calibrazione espressa dalla Eq. (4). Per i trattamenti FI e RDI nei tre periodi sub-diurni.

Period	FI			RDI		
	a	b	R^2	a	b	R^2
7:00-12:00	2.5e5	27	0.79	10e5	17	0.92
13:00-16:00	10e6	32	0.91	6.8e6	27	0.92
17:00-18:00	5.1e5	15	0.81	6.4e5	15	0.97

The slopes of linear relationships are sensibly higher for both treatments in the central period, which occurs during the hottest hours when the leaves regulate stomatal opening more efficiently in response to high values of D (Katerji and Rana, 2011; Zhang et al., 2014). Furthermore, the RDI slope of the linear functions is higher than those of the FI ones, as r_c shows higher values at higher values of D under condition of water supply limitation (Katerji and Rana, 2011), even for water stress resistance olive trees (Tognetti et al., 2009). The quite strong calibration linear relationships between r_c/r_a and r^*/r_a showed by the high values of the coefficient of determination R^2 (see Tab. 1) preclude good performances of the KP model for the estimation of olive orchard transpiration in different crop water conditions (Rana et al., 1997a; Katerji and Rana, 2006; Margonis et al., 2019). Preliminary tests (data not shown) were conducted to compare T simulated by the model expressed by Eq. (3) and T measured by the TDM method. The results showed an improvement in the model's performance if the used calibration coefficients (a and b) were differentiated by sub-diurnal periods. This was done using the completely independent data set acquired during 2020 and 2021 years, and the improvement can be demonstrated by an increase of both the coefficient of determination (+22%) and the standard error (+19%) of the comparison between calculated and measured transpiration values at daily scale. These results support the concept that the simulation of biophysical processes, such as transpiration, is notably improved when the species-specific calibration is performed at a local level for both the time and the space scales (Rana et al., 1997a; 1997b; Margonis et al., 2018; Chen et al., 2022).

Conclusions

In this study, the hysteretic loops of the path of canopy resistance r_c , measured in an olive super-intensive hedgerow olive orchard, against vapour pressure deficit and available energy at sub-diurnal, are described in detail. The magnitude of the loops increases with the increase of the water supply limitation, based on the worsening of crop water conditions. The physiological behaviour of the leaves in response to stomatal regulation to the change in the thermodynamical condition of the atmosphere, is quite different in the morning and afternoon D and Q cycles. In fact, prolonged time lags

between peak transpiration and D/Q can serve as a suitable strategy to avoid excessive water loss by olive trees (Chen et al., 2022). These results can be used to improve the r_c model calibration process, directly enhancing the performances of a Penman-Monteith type transpiration model.

Acknowledgments

The authors thank the MOLTI project (Decree n. 13938, April the 24th 2018) funded by the Italian Ministry of Agriculture (MiPAAF), which fully supported the study, and Prof. Salvatore Camposo for the essential collaboration.

References

- Allen et al., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrig. drain. pap No. 56, Rome, pp 300.
- 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 Horticult Sci* 24: 16–20.
- Chen et al., 2022. Modeling maize evapotranspiration using three types of canopy resistance models coupled with single-source and dual-source hypotheses—A comparative study in a semi-humid and drought-prone region. *J Hydrol*, 614: 128638.
- Monteith, J.L., 1965. Evaporation and environment. In: *Symposia of the society for experimental biology*. Cambridge University Press (CUP) Cambridge, pp 205–234.
- Fernández et al., 2013. A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density. *Plant Soil*, 372: 279–295.
- Granier, A., 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiol*, 3: 309–320.
- Hernandez-Santana et al., 2016. The dynamics of radial sap flux density reflects changes in stomatal conductance in response to soil and air water deficit. *Agric For Meteorol*, 218–219: 92–101.
- Katerji, N., Perrier, A., 1983. A modélisation de l'évapotranspiration réelle d'une parcelle de luzerne: rôle d'un coefficient cultural. *Agronomie*, 3(6): 513–521.
- Katerji, N., Rana, 2006. Modelling evapotranspiration of six irrigated crops under Mediterranean climate conditions. *Agric For Meteorol*, 138: 142–155.
- Katerji, N., Rana, G., 2011. Crop reference evapotranspiration: a discussion of the concept, analysis of the process and validation. *Water Res Manag*, 25: 1581–1600.
- Margonis et al., 2018. Canopy Resistance and Actual Evapotranspiration over an Olive Orchard. *Water Res Manag*, 32, 5007–5026.
- Pan et al., 2020. Evaluation of global terrestrial evapotranspiration using state-of-the-art approaches in remote sensing, machine learning and land surface modelling. *Hydrol. Earth Syst Sci*, 24, 1485–1509.
- Pataki et al., 2011. Transpiration of urban forests in the Los Angeles metropolitan area. *Ecol. Appl.*, 21: 661–677.
- Rana et al., 1997a. A model for predicting actual evapotranspiration under soil water stress in a Mediterranean region. *Theor Appl Climat*, 56(1-2): 45–55.
- Rana et al., 1997b. Validation of a model of actual evapotranspiration for water stressed soybeans. *Agric For Meteorol*, 86: 215–224.
- Rana et al., 2020. Tree transpiration in a multi-species Mediterranean garden. *Agric For Meteorol*, 280: 107767.
- Rosecrance et al., 2015. Moderate regulated deficit irrigation can increase olive oil yields and decrease tree growth in super high density 'Arbequina' olive orchards. *Sci Horticult*, 190: 75–82.
- Shinohara et al., 2013. Azimuthal and radial variations in sap flux density and effects on stand-scale transpiration estimates in a Japanese cedar forest. *Tree Physiol*, 33(5): 550–558.
- Tognetti et al., 2009. Assessing environmental controls over conductances through the soil–plant–atmosphere continuum in an experimental olive tree plantation of southern Italy. *Agric For Meteorol*, 149: 1229–1243.
- Xu et al., 2022. Globally assessing the hysteresis between sub-diurnal actual evaporation and vapor pressure deficit at the ecosystem scale: Patterns and mechanisms. *Agric For Meteorol*, 323: 109085.
- Wiedemann et al., 2016. An empirical study of the wound effect on sap flux density measured with thermal dissipation probes. *Tree Physiol* 36: 1471–1484.
- Zhang et al., 2014. The hysteretic evapotranspiration-vapor pressure deficit relation. *J Geophys Res Biogeosci*, 119(2): 125–140.
- Zhou et al., 2017. The ratio of transpiration to evapotranspiration in a rainfed maize field on the Loess Plateau of China. *Water Sci Tech: Water Supply*, 17.1: 221–227.

IMPATTO DELL'AGGIUNTA DI VERMICOMPOST SULLA DISPONIBILITÀ IDRICA DI SUOLI DI DIVERSA STRUTTURA

IMPACT OF VERMICOMPOST ADDITION ON WATER AVAILABILITY OF DIFFERENT TEXTURED SOILS

Mirko Castellini^{1*}, Cristina Bondi², Antonio Preite¹, Luisa Giglio¹, Massimo Iovino²

¹ Council for Agricultural Research and Economics–Research Center for Agriculture and Environment (CREA–AA), Via C. Ulpani 5, 70125 Bari, Italy

² Department of Agricultural, Food and Forest Sciences, University of Palermo, 90128 Palermo, Italy

* mirko.castellini@crea.gov.it

Abstract

Soil organic matter is a dynamic soil component that represents a main source for several ecosystem services critical to human well-being and nature conservancy. However, intensive agriculture can be a major cause for loss fertility and lead to soil degradation. Consequently, soil degradation, including worsening of the physical, chemical, biological and ecological soil components, implies an overall decline in soil quality and a possible consequent reduction in ecosystem functions and services. Recently, vermicompost has increasingly assumed a key role as an organic soil conditioner, also in terms of sustainable management and recycling of organic waste. In this investigation the impact of vermicompost addition on the physical properties of five different textured soil was quantified, and different level of soil amendment were considered. Specifically, after a preliminary evaluation regarding the vermicompost hydrophobicity, the impact of a wide range of amendment rates (nineteen amendments in all, and up to about 50% amendment/soil mixture) on five soils that differed in texture (coarse, intermediate and fine soils) was evaluated, and the effects on soil bulk density, water content, water retention and physical quality indicators of the soil quantified. The induced effects by vermicompost have been identified, also as a function of the different soil texture considered. The results obtained may be considered original, because little information can be found in the literature, regarding the benefits of this soil amendment.

Parole chiave

Ammendanti del suolo, ritenzione idrica del suolo, indicatori capacitivi, distribuzione del volume dei pori, indice S

Keywords

Soil amendments, soil water retention, capacitive based indicators, pore volume distribution, S-index

Introduzione

Numerose opzioni tecnologiche sono suggerite in letteratura per la gestione della sostanza organica (SO) del suolo, e quindi, per il miglioramento della sua qualità (Lal, 2009). Sostanzialmente, consistono nel controllare le perdite di SO riducendo l'erosione del suolo, diminuendo la lisciviazione e minimizzando la decomposizione della SO o, in alternativa, aumentando il contenuto di SO del suolo attraverso l'uso di ammendanti (Lal, 2009; Reynolds et al., 2009). Tali modifiche, hanno effetti benefici sulla qualità del suolo e sulla disponibilità di acqua, con conseguenti più elevate rese delle colture.

Il vermicompost (VC) è il prodotto del processo di bio-ossidazione e stabilizzazione di materiale organico da parte dei lombrichi, per ottenere un materiale organico altamente ricco di elementi chimici di base. Inoltre, essendo i lombrichi dei “bioreattori naturali”, la loro attività stimola la velocità di decomposizione dei residui organici, e grazie al movimento nel suolo, migliorano anche la struttura e l'aerazione del substrato con conseguente aumento della porosità, dell'infiltrazione e della ritenzione idrica. Per tali motivi, il VC è generalmente considerato un ammendante naturale e sostenibile. Pertanto, l'utilizzo di VC potrebbe essere raccomandato per migliorare la ritenzione idrica dei suoli a tessitura medio-grossolana o, più in generale, per

bilanciare il rapporto acqua/aria in quelli a tessitura medio-fine (Khalifa et al., 2022). Tuttavia, sono disponibili poche valutazioni approfondite sull'effetto del VC in suoli agricoli, e nessuna di esse mirava a confrontare gli effetti in funzione della tessitura del suolo.

In questa indagine sperimentale, è stato valutato l'impatto di livelli crescenti di VC sulle proprietà fisiche di cinque suoli con diversa tessitura. In particolare, l'idrofobicità del VC è stata valutata preliminarmente in un intervallo di contenuto di umidità compreso tra la capacità di campo e quello secco in stufa. Quindi, l'impatto dell'aggiunta di crescenti dosi di VC, fino a concentrazioni del 50% circa, è stato valutato in termini di densità apparente del suolo, ritenzione idrica e indicatori di qualità fisica del suolo (SPQ).

Materiali e Metodi

Cinque terreni con differente tessitura sono stati selezionati in Sicilia e Puglia (Palermo Orleans, OR; Bari CREA, CR; Palermo Campus UNIPA, UN; Taranto Ginosa, GI; Taranto Castellaneta, CA). I suoli sono stati essiccati all'aria, setacciati ad un diametro di 2 mm e caratterizzati dal punto di vista chimico.

Il vermicompost utilizzato in questa indagine è un sottoprodotto della digestione del letame bovino da parte

dei lombrichi (*Eisenia fetida*) prodotto da CONITALO, Consorzio Allevamento Lombrichi Italiano.

Il VC e i suoli sono stati miscelati per ottenere 19 proporzioni in peso: 0 (controllo senza ammendante), 0,5, 1, 2, 4, 5, 6, 6,5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 22, 33, 43%. Pertanto, sono stati preparati ed analizzati un totale di 95 campioni di terreno (19 concentrazioni x 5 suoli). I campioni oggetto della sperimentazione sono stati ottenuti compattando la miscela di terreno/ammendante secco in cilindri metallici di 8 cm di diametro e 5 cm, seguendo la procedura di Bondi et al. (2022).

Dalle curve di ritenzione idrica, determinate con metodi standard di laboratorio (Bondi et al., 2022), sono stati dedotti 15 indicatori di qualità fisica del suolo, suddivisi in tre gruppi. Il primo gruppo è costituito da indicatori capacitivi generalmente usati per identificare la capacità del suolo di immagazzinare acqua e aria per le colture, come macroporosità (P_{MAC}), capacità di aereazione (AC), capacità di campo relativa (RFC) e acqua disponibile per le piante ($PAWC$). Il secondo gruppo include i parametri di "posizione" e "forma" della funzione di distribuzione del volume dei pori (Reynolds et al., 2009). Il terzo gruppo include indicatori relativi al punto di flesso della funzione di ritenzione idrica che discrimina la porosità non capillare (macropori) da quella capillare (Dexter, 2004).

Per ogni suolo è stata eseguita un'analisi della regressione lineare tra ciascuna variabile del suolo e la dose di VC. L'effetto dell'aggiunta di VC è stato valutato considerando la significatività statistica dei coefficienti di regressione tra variabili del suolo e rapporto VC/soilo, r ($P=0,05$). Per le correlazioni significative, inoltre, l'intervallo di variabilità di ciascuna variabile del suolo considerata è stato calcolato nell'intervallo compreso tra zero (controllo) e l'applicazione massima di VC ($r = 43\%$). Per motivi di sintesi, nel presente contributo verranno riportati i risultati principali della ricerca e, tra questi, solo quelli relativi al primo gruppo di indicatori di SPQ.

Risultati e Discussione

In accordo con la classificazione USDA, i suoli avevano tessitura franco-sabbiosa (CA, GI e UN), franca (CR) e franco-argillosa (OR). La percentuale di particelle fini, cioè la somma del contenuto di argilla e limo che contribuiscono alla ritenzione dell'acqua, variava dal 26 al 64% seguendo l'ordine $CA < GI < UN < CR < OR$. Pertanto, i suoli erano differenziabili sulla base delle tre macro-classi di tessitura del suolo (fine, intermedia e grossolana).

Come atteso, l'aggiunta del VC ha sempre determinato una significativa diminuzione della densità apparente dei suoli. Esempi di correlazione lineare per due suoli a tessitura opposta (fine e grossolana), sono riportati in Fig.1.

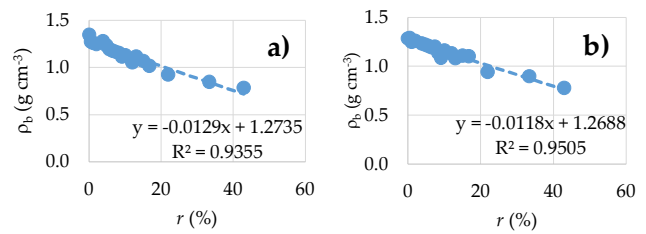


Fig.1 - Esempi di correlazione tra la densità apparente del suolo secco (ρ_b) e rapporto percentuale VC/soilo (r), per due suoli di diversa tessitura, OR (a) e GI (b).

Fig.1 - Examples of correlation between soil bulk density (ρ_b) and the percentage values of VC/soil (r), for two contrasting textured soils, OR (a) and GI (b).

Analogamente, anche la ritenzione idrica è sempre aumentata significativamente al crescere della concentrazione di VC. La Fig.2 riporta alcuni esempi di correlazione lineare tra i valori di contenuto idrico volumetrico (theta), corrispondenti a quattro valori del potenziale matriciale, e la concentrazione di VC, r (%).

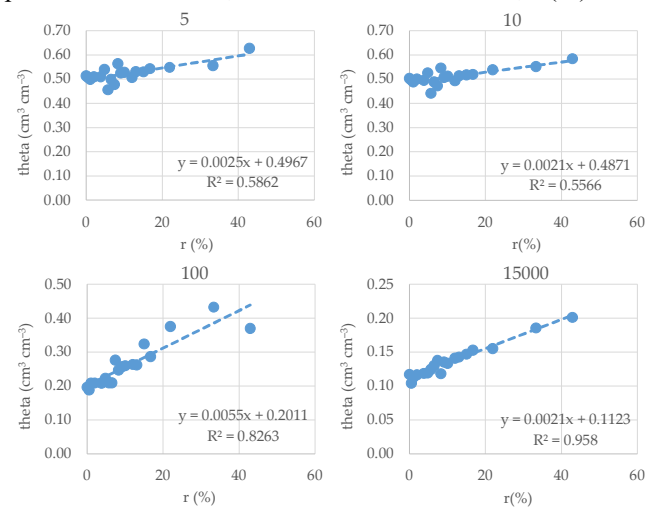


Fig.2 - Esempi di correlazione tra valori di ritenzione idrica del suolo CA (corrispondenti a principali valori del potenziale matriciale: $h=5$ cm, suolo quasi saturo; $h=10$ cm., matrice del suolo; $h=100$ cm, capacità di campo; $h=15000$ cm, punto di appassimento) e i valori del rapporto percentuale VC/soilo (r).

Fig.2 - Examples of correlation between values of water retention for CA soil (i.e., corresponding to main values of soil water potential: $h=5$ cm, near saturated soil; $h=10$ cm., soil matrix; $h=100$ cm, field capacity; $h=15000$ cm, wilting point) and the percentage values of VC/soil (r).

Per i terreni grossolani (GI e CA) e fini (OR), P_{MAC} è aumentata significativamente con r , mentre non è stata osservata alcuna tendenza per i restanti suoli (CR e UN) (Tab.1). L'ammendamento ha determinato un aumento di AC nei suoli OR e UN e una diminuzione per i suoli CA. Gli indicatori capacitivi P_{MAC} e AC sono espressivi dell'acqua trattenuta in pori con diametro equivalente superiore, rispettivamente, a 0,3 e 0,03 mm. Pertanto, l'uso di VC è risultato efficace per aumentare il volume relativo

di entrambe le classi di porosità nel suolo OR, solo della classe più piccola nel suolo UN, mentre ha incrementato la classe più grande (P_{MAC}) e diminuito quella più piccola (AC) nel suolo CA. La capacità di campo relativa (RFC) è aumentata significativamente con r per i terreni grossolani (CA, GI) ed è diminuita significativamente per quello fine (OR), senza mostrare alcuna tendenza per i restanti suoli. L'acqua disponibile per le piante è aumentata significativamente solo per i terreni medio-sabbiosi (GI e CA), e tra questi, con un effetto più marcato nel terreno più grossolano ($PAWC$ è aumentato di $0.24 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$), a conferma dei benefici dell'ammendamento specie nei terreni sabbiosi.

Tab.1 - Coefficienti di determinazione (R^2) per la correlazione tra indicatori fisici del suolo e $r\%$. I valori di R^2 con il segno meno indicano correlazioni decrescenti. Per ogni regressione significativa, sono riportati tra parentesi i valori calcolati tra la concentrazione minima e massima di vermicompost (0 e 42,9%).

Tab.1 - Coefficients of determination (R^2) for the correlation between soil physical indicators and $r\%$. R^2 values with the minus sign indicate decreasing correlations. For each significant regression, the calculated values between minimum and maximum vermicompost concentration (0 and 42.9%) are reported in brackets.

	OR	CR	UN	GI	CA
P_{MAC} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.2525* (0.01-0.014)	0.1170 (n.a.)	0.0115 (n.a.)	0.7809** (0-0.03)	0.3924** (0.01-0.05)
AC ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.8542** (0.09-0.23)	0.0001 (n.a.)	0.2652* (0.20-0.25)	-0.0621 (n.a.)	-0.2813* (0.29-0.18)
RFC (-)	-0.6625** (0.78-0.57)	0.0266 (n.a.)	-0.1394 (n.a.)	0.3424** (0.52-0.63)	0.5933** (0.41-0.72)
$PAWC$ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0.0013 (n.a.)	0.1862 (n.a.)	0.0200 (n.a.)	0.6316** (0.08-0.18)	0.8263** (0-0.24)

Conclusioni

I risultati hanno complessivamente mostrato che l'ammendamento è stato efficace nel modificare il sistema di distribuzione dei pori del suolo e i relativi indicatori di SPQ. Selezionando le correlazioni più robuste (statisticamente significative o aggregate per tessiture simili) relative ad un dato indicatore, e considerando i valori ottimali di letteratura, è possibile derivare le corrispondenti concentrazioni ottimali di VC. Tuttavia, è necessario estendere questa indagine per verificare gli effetti delle concentrazioni ottimali ottenute nella presente indagine in esperimenti agronomici di pieno campo.

Ringraziamenti

La ricerca è stata condotta col supporto finanziario del progetto “Water4AgriFood, Miglioramento delle produzioni agroalimentari mediterranee in condizioni di carenza di risorse idriche”, PNR 2015–2020”, finanziato dal MIUR, PON ARS01_00825 “Ricerca e Innovazione” 2014–2020.

Bibliografia

- Bondi, C., Castellini, M., Iovino, M. 2022. Compost Amendment Impact on Soil Physical Quality Estimated from Hysteretic Water Retention Curve. *Water* 2022, 14, 1002.
- Dexter, A.R., 2004. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120, 201–214.
- Khalifa, T.H., Mariey, S.A., Ghareeb, Z.E., Khatab, I.A., Alyamani, A., 2022. Effect of organic amendments and nano-zinc foliar application on alleviation of water stress in some soil properties and water productivity of barley yield. *Agronomy* 2022, 12, 585.
- Lal, R., 2009. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *Eur. J. Soil Sci.* 60 (2), 158–169.
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A., Yang, X.M., 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma* 152, 252–263.

MIGLIORARE IL CONTENUTO IDRICO DEL SUOLO IN UN PESCHETO IN AMBIENTE MEDITERRANEO CON L'APPLICAZIONE DI UN AMMENDANTE COMPOSTATO MISTO

IMPROVE SOIL WATER CONTENT IN A PEACH ORCHARD IN A MEDITERRANEAN ENVIRONMENT WITH THE APPLICATION OF A MIXED COMPOSED AMENDMENTS

Onofrio Cappelluti^{1*}, Maria Roberta Bruno², Anna Francesca Modugno², Rossana Monica Ferrara², Liliana Gaeta², Gabriele De Carolis², and Pasquale Campi^{2*}

¹ University of Bari Aldo Moro - Department of Soil, Plant and Food Sciences (Di.S.S.P.A.), Via Giovanni Amendola, 165/a, 70126 Bari (BA)

² Research Centre for Agriculture and Environment, CREA-Council for Agricultural Research and Economics, Via Celso Ulpiani, 5, 70125 Bari (BA)

*pasquale.campi@crea.gov.it; onofrio.cappelluti@uniba.it

Abstract

The reduction in water availability imposes the agronomic issues of increasing soil storage capacity and improving the use of rainwater or irrigation water. A field experiment was conducted in 2021 in a Mediterranean environment in a 5-year-old peach orchard to study the effect of soil amendment, applied in different amounts, on soil water status dynamics. Water balance was monitored during the vegetative-reproductive cycle of peach trees on a daily scale. Three treatments were compared: A0, control; A1, with amendment (10 t ha⁻¹); A2, with half dose of amendment (5 t ha⁻¹). On a seasonal scale, soil water content increased by 27 percent and 33 percent in A1 and A2 compared with A0, while relative extractable water ranged between 0.41 (A0) and 0.65 (A1 and A2). Both soil water balance indicators show that storage capacity increases with the addition of amendments. Improved soil storage capacity was associated with higher values of stem water potential (throughout the growing season) and stomatal conductance (at the end of the season).

Parole chiave

relative extractable water; potenziale idrico dello stelo, variabili agro-climatiche, stoccaggio acqua nel suolo

Keywords

relative extractable water; stem water potential, agro-climatic variables, soil water storage

Introduzione

La riduzione osservata della disponibilità di acqua (Bleu *et al.*, 2009) impone il risparmio idrico in ogni attività umana e in ogni settore produttivo. I cambiamenti climatici hanno portato a un aumento delle temperature di +1,5 °C (Change, 2014) e a una diminuzione delle precipitazioni totali annue (Madsen *et al.*, 2014, Fiori *et al.*, 2014), con un aumento, in generale, dell'intensità degli eventi piovosi (Fahad *et al.*, 2015). Le precipitazioni molto intense ma di breve durata non consentono ai suoli di immagazzinare l'acqua (Findell *et al.*, 1997) e il 40-50% delle precipitazioni si perde attraverso il ruscellamento (Wang *et al.*, 2020).

Negli ultimi decenni, nella regione mediterranea si sono verificati eventi estremi di precipitazione e aumenti dei periodi di siccità (Stocker *et al.*, 2013, Rashid *et al.*, 2004, Fernández *et al.*, 2009). Diversi studi (Campi *et al.*, 2020, Zhang *et al.*, 2011) hanno dimostrato come l'utilizzo di tecniche agronomiche sostenibili quale l'aggiunta di sostanza organica può migliorare la struttura del suolo, l'infiltrazione dell'acqua e la porosità del suolo (Rawls *et al.*, 2004). L'aumento della quantità di sostanza organica nel suolo può essere ottenuto utilizzando ammendamenti organici; in particolare, gli ammendamenti misti, composti da diversi materiali organici come letame animale e residui vegetali, contribuiscono a migliorare le proprietà fisiche,

chimiche e biologiche del suolo (Dos Santos *et al.*, 2003). Inoltre l'applicazione di ammendanti al suolo, consentono una riduzione della perdita di acqua per evaporazione (Taban *et al.*, 2006).

L'effetto dell'apporto di ammendanti sullo stato idrico del suolo può essere valutato considerando sia un indice di stress da siccità, il Relative Extractable soil Water (REW), che descrive la riserva idrica del suolo in termini di valore relativo, sia un insieme a indici basati sulle piante, come il potenziale idrico del fusto e la conduttanza stomatica (Zhang *et al.*, 2013, Gaeta *et al.*, 2017).

L'ipotesi formulata in questo studio riguarda l'aggiunta di due diverse quantità di ammendamenti misti, senza l'aggiunta di fertilizzanti chimici/organici, in un pescheto situato in un'area mediterranea al fine di verificare (i) l'aumento dell'accumulo di acqua lungo il profilo del suolo e (ii) il miglioramento delle prestazioni del pescheto.

Materiali e Metodi

Metodologia sperimentale

Lo studio è stato condotto durante la stagione vegetativa 2021, da maggio a settembre, a Rutigliano (BA) nell'azienda sperimentale M.E. Venezian Scarascia del Consiglio per la Ricerca e l'Economia Agricola (CREA), in un pescheto di 5

anni a maturazione tardiva (cv. Redcall), coltivato a vaso tradizionale e innestato su portainnesto GF677, con una distanza di 5,0 m × 5,0 m e gestito secondo le pratiche agricole convenzionali. Il sistema di irrigazione a goccia, mediante due gocciolatori per albero con un flusso di 16 L h⁻¹ per gocciolatore ha permesso una giusta programmazione irrigua, effettuata con l'approccio FAO56. Nel suolo l'apparato radicale non si sviluppa al di sotto di 0,5 m, pertanto, la riserva idrica apportata (116,48 mm) è stata moderata ma sufficiente a ripristinare il 100% dell'evapotraspirazione della coltura.

Per le prove in campo, al suolo è stato distribuito un ammendante compostato misto (fornito dall'azienda, Fertileva srl, Evainfruit) con le seguenti principali caratteristiche: umidità 32%, pH 7,5, carbonio organico 36%, azoto organico 3%, rapporto C/N 13.

All'interno del pescheto sono state disposte con un disegno con tre repliche a blocchi randomizzati per le prove: A0: controllo, non è stato distribuito ACM, A1: ACM distribuito alla dose di 10 t ha⁻¹, A2: ACM distribuito alla dose 5 t ha⁻¹, A0: controllo, non è stato distribuito ACM.

La distribuzione dell'ammendante è avvenuta il 12 aprile 2021, successivamente è stato interrato manualmente nei primi 10 centimetri di terreno.

I dati meteorologici sono stati raccolti tramite sensori meteo standard, misurati in continuo con un intervallo di 10s su un prato di festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) distante 350 m dal campo sperimentale e registrati ogni ora da una stazione meteorologica automatica (Campbell Sci., USA). Il contenuto idrico nel suolo (swc) è stato misurato utilizzando sonde capacitivie (TEROS11, Decagon Devices Inc., USA) a partire dal 1° maggio in entrambi gli anni. Il contenuto giornaliero di acqua nel suolo è stato determinato misurando il contenuto di acqua per volume utilizzando sonde collegate a un data-logger (TE-CR1000, Campbell, USA) e i dati sono stati trasmessi a un server web tramite modalità LAN o GSM. Il Relative extractable soil water (REW) descrive la riserva idrica del suolo in termini di valore relativo (Granier *et al.*, 1999). Il REW descrive in modo esauriente la disponibilità di acqua nel suolo nella zona radicale, in quanto deriva da dati stimati attraverso sonde posizionate nel suolo nella zona radicale. Viene spesso utilizzato come semplice indice di stress da siccità, in quanto il REW può essere calcolato dal contenuto idrico del suolo nella zona radicale in un determinato momento, come segue:

$$REW = \frac{SWC_{day} - SWC_{min}}{SWC_{max} - SWC_{min}}$$

SWC_{day} è il contenuto idrico giornaliero del suolo (m³ m⁻³), SWC_{min} (m³ m⁻³) è il contenuto idrico minimo rilevato, mentre SWC_{max} (m³ m⁻³) è il contenuto idrico massimo consumato dalle piante in tutta la zona radicale durante la stagione irrigua, o capacità del campo idrico. Il REW varia da 1,0 (contenuto idrico massimo del suolo) a 0 (contenuto idrico minimo del suolo). I valori giornalieri di REW per gli esperimenti sono stati calcolati dalle misurazioni giornaliere di SWC.

Poiché non era disponibile un valore critico, specifico per il sito, del potenziale matriciale per valutare i deficit idrici del suolo, si è ipotizzato che lo stress idrico si verifici quando REW scende al di sotto della soglia di 0,4 (REW_c): innescando la regolazione stomatica (Granier *et al.*, 1999, Granier *et al.*, 2000, Zhang *et al.*, 2021), la soglia REW < 0,4 è comunemente utilizzata in vari ecosistemi (Tognetti *et al.*, 2009).

Potenziale idrico dello stelo e conduttanza stomatica

Il potenziale idrico del fusto è il parametro ecofisiologico direttamente correlato allo stato idrico del suolo. Lo stato idrico delle piante è stato caratterizzato per ogni trattamento dal potenziale idrico del fusto (Ψ_{st}, MPa) e dalla conduttanza stomatica (gs, mmol m⁻² s⁻¹) misurata a mezzogiorno, poiché il potenziale idrico del fusto e la conduttanza stomatica sono più strettamente correlati allo stato idrico delle foglie a mezzogiorno (Zhang *et al.*, 2013). Il potenziale idrico del fusto è stato misurato con la tecnica della camera a pressione (camera a pressione di Scholander) una o due volte al mese su sei piante per trattamento, selezionando due foglie per pianta. Secondo Gaeta *et al.* (2017), in una cultivar di pesco a maturazione tardiva come Redcal il potenziale idrico del fusto non è completamente informativo sullo stato idrico della pianta in quanto la pianta tende ad avere un comportamento conservativo o isoidrico.

Analisi statistiche

I dati sono stati analizzati considerando un'ANOVA a una via (A0, A1 e A2) per stagione (2021). Le differenze in ciascun trattamento sono state valutate utilizzando il test HSD (honestly significant difference) di Tukey.

I limiti di confidenza utilizzati in questo studio erano basati sul 95% (p<0,05). Le analisi statistiche sono state calcolate utilizzando il software statistico R (R Development Core Team, <http://www.r-project.org>).

Risultati e Discussione

La Figura 1 mostra l'evoluzione dei valori giornalieri di temperatura dell'aria (°C) (media, minima e massima) delle precipitazioni giornaliere (mm d⁻¹) e irrigazioni (mm d⁻¹) durante il periodo di osservazione dall'apertura delle gemme (1° maggio 2021) alla fine della stagione produttiva (30 settembre 2021). La temperatura media dell'aria durante il periodo di osservazione era di 23°C. La temperatura minima è scesa sotto i 10°C solo cinque volte, all'inizio della stagione vegetativa (9 maggio 2021), durante la prima fase della seconda fruttificazione (3 giugno 2021) e alla fine del ciclo vegetativo (24 settembre 2021), il che non ha influito sulla produttività del pesco. La temperatura massima ha raggiunto valori compresi tra 35 e 40°C diverse volte durante la stagione di crescita, tra il 20 giugno e il 20 agosto. Il calo al di sotto dei 10°C per cinque volte, come già detto, non ha influito sulla produttività del pesco, in quanto non comporta alcuno stress significativo o danno da gelo (Liu *et al.*, 2018). Le precipitazioni registrate durante il periodo di osservazione sono state pari a 124 mm. I valori medi

giornalieri del deficit di pressione di vapore (VPD) variavano da 1 a 1,5 kPa (dati non mostrati).

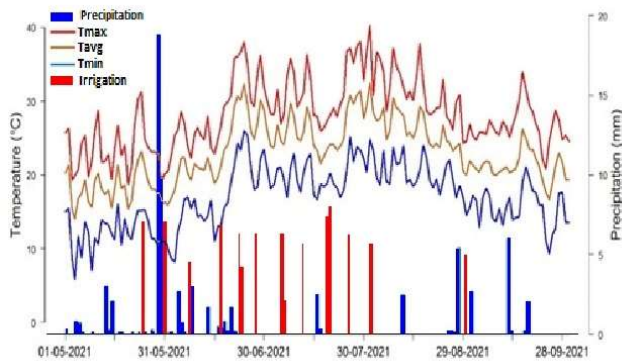


Fig.1 - Valori giornalieri della temperatura dell'aria (media, minima e massima), delle precipitazioni totali e delle irrigazioni totali.

Fig.1- Daily air temperature values (average, minimum and maximum) total precipitation and total irrigation.

I valori di SWC dei tre trattamenti erano generalmente compresi tra il punto di appassimento (prima dell'irrigazione) e la capacità del campo (dopo l'irrigazione). La programmazione dell'irrigazione ha impedito di superare la capacità del campo e non ha mai permesso al suolo di raggiungere il punto di appassimento, nonostante un andamento meteorologico che ha portato a livelli elevati di evapotraspirazione. Valori di contenuto idrico del suolo prossimi al punto di appassimento sono stati osservati solo nel caso del trattamento A0 (senza modifiche del suolo). Il valore più vicino al punto di appassimento era di circa $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nel trattamento A0 alla fine del ciclo produttivo, dopo la sospensione dell'irrigazione. Il comportamento dei due trattamenti che hanno ricevuto l'ammendante (indipendentemente dalla quantità di ammendante) è diverso da quello del trattamento senza ammendante. I valori stagionali del contenuto idrico del suolo per A1 e A2 sono sistematicamente +13,8% e +11,4% più alti rispetto ad A0, rispettivamente.

La Figura 2 riassume, su scala stagionale, il contenuto idrico medio del suolo per i tre trattamenti, con differenze significative tra tutte le prove. La Figura 2 mostra, inoltre, che la variabilità dei dati sull'umidità del suolo durante la stagione di crescita del pesco è significativamente più alta nel trattamento senza ammendante rispetto ai due trattamenti che hanno ricevuto ammendante. Si osserva che l'aggiunta di ammendanti al suolo, non solo aumenta i valori di umidità del suolo misurati, ma riduce anche le fluttuazioni intorno al valore medio stagionale. Ciò significa che, dove non è stato aggiunto l'ammendante al terreno, la coltura risulta più esposta a fluttuazioni potenzialmente pericolose dell'umidità del suolo durante il ciclo di crescita.

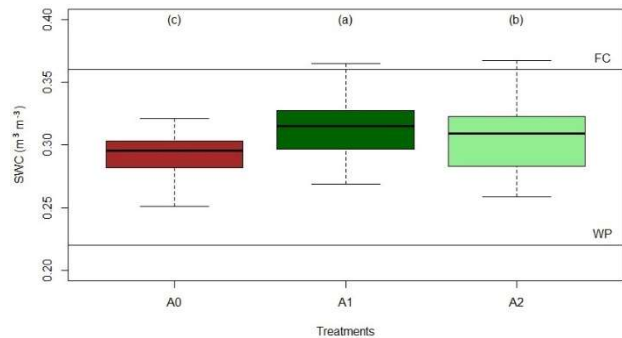


Fig.2 - Contenuto idrico del suolo medio nella stagione di crescita del pesco. Le lettere diverse indicano una differenza significativa ($p\text{-value} < 0,05$). A0 = controllo; A1 = dosaggio completo di ammendante; A2 = metà dosaggio di ammendante; WP = punto di appassimento, FC = capacità di campo.

Fig.2- Soil water content averaged on the peach tree growing season. Different letters indicate a significant difference ($p\text{-value} < 0.05$). A0 = control; A1 = complete dosage of soil amendment; A2 = half dosage of soil amendment; WP = wilting point, FC = field capacity.

Considerando la soglia dell'indice di stress da siccità 0,4 (Sadras *et al.*, 1996, Rahmati *et al.*, 2015), i valori stagionali di REW per A0 erano vicini alla soglia, il che potrebbe indicare un rischio di stress idrico del suolo. I due trattamenti che hanno beneficiato dell'ACM (dosaggio completo A1 o metà dosaggio A2) hanno avuto valori di REW lontani dalla soglia critica di stress durante l'intera stagione di crescita del pesco. L'analisi statistica (HSD di Tukey) ha mostrato che i valori di REW medio per A1 (0,66) e A2 (0,61) erano significativamente diversi da A0 (0,50). L'analisi dei valori di REW su scala settimanale (Fig. 3) rivela che il pescheto subisce uno stress idrico del suolo (in particolare quando l'approvvigionamento idrico regolare viene interrotto, ad esempio a settembre) se la coltura non beneficia dell'ACM. Il rischio di stress del suolo non si verifica quando il suolo riceve una dose completa di ammendante (A1) e si mostra solo alla fine del ciclo, a settembre (Fig. 3), nel caso di un apporto ridotto di ammendante (A2).

I valori medi massimi e minimi di REW sono stati rispettivamente 0,72 e 0,22 per A0, 1,00 e 0,35 per A1 e 1,00 e 0,28 per A2. In particolare, il REW per A0 scende al di sotto della soglia di 0,4 nel 20% dei giorni di agosto e nel 68% di settembre. Il trattamento A2 subisce uno stress idrico nel 16% dei giorni di agosto e nel 67% di settembre; mentre nel trattamento A1 lo stress idrico del suolo non si è verificato in nessun giorno, tranne che a settembre (35% dei giorni del mese). È stato possibile comprendere meglio il contributo dei trattamenti con ammendamenti organici, rispetto ad A0, a dimostrazione del fatto che un apporto di sostanza organica a dose piena (A1), garantisce una migliore ritenzione idrica del suolo tale da non generare stress idrico, o quasi, in nessun giorno della stagione.

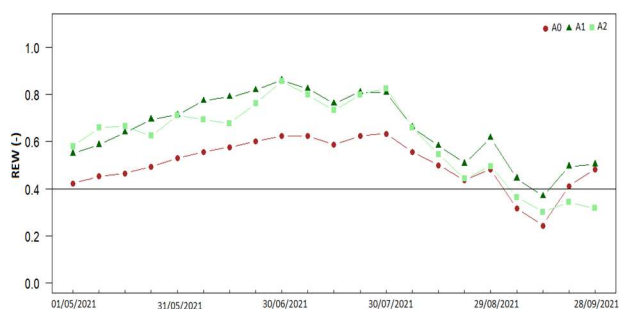


Fig.3 - Valori REW su scala settimanale. A0 = controllo; A1 = dose completa di ammendante; A2 = metà dose di ammendante.

Fig.3 - REW values on a weekly scale. A0 = control; A1 = complete dosage of soil amendment; A2 = half dosage of soil amendment.

La Figura 4 mostra l'evoluzione del potenziale idrico del fusto durante la stagione di crescita del pesco. Le tendenze della SWC descritte precedentemente sono in accordo con l'andamento del potenziale idrico del fusto. Durante l'intero ciclo colturale, i valori più alti di potenziale del fusto sono stati osservati nel trattamento A1, in cui l'ammendante è stato fornito in dose completa. I valori di potenziale più bassi sono stati misurati nel trattamento senza ammendante.

Le differenze nei valori di potenziale idrico del fusto tra i trattamenti non sono state significative (Fig. 4) nel corso della stagione, tranne il 9 settembre, quando Ψ_{st} è stato pari a -1,37, -1,59 e -2,10 MPa rispettivamente per A1, A2 e A0. Secondo Rahmati et al. (Rahmati *et al.*, 2015), un valore di Ψ_{st} pari a -1,5 MPa potrebbe essere considerato una soglia per lo stress idrico del pesco. In base a questi risultati, i rischi di stress idrico dovrebbero presentarsi all'inizio di settembre, nel trattamento A0. I valori del potenziale idrico del fusto confermano quanto osservato anche per il REW. Solo a settembre i valori di potenziale idrico del fusto misurati nel trattamento senza modifiche erano statisticamente inferiori a quelli misurati nei due trattamenti con modifiche. Il programma di irrigazione previsto dal protocollo dell'esperimento ha garantito l'apertura stomatica e, di conseguenza gli scambi gassosi durante l'intero periodo vegetativo del pesco. Nel nostro studio, i dati sul potenziale idrico del fusto non hanno mostrato differenze significative tra i trattamenti, tranne che in alcuni momenti; questo perché l'apertura degli stomi è determinata dal potenziale idrico del fusto, ma anche dai livelli di PAR, dalla richiesta di evapotraspirazione e dalla concentrazione di CO₂ all'interno delle camere sub-stomatali.

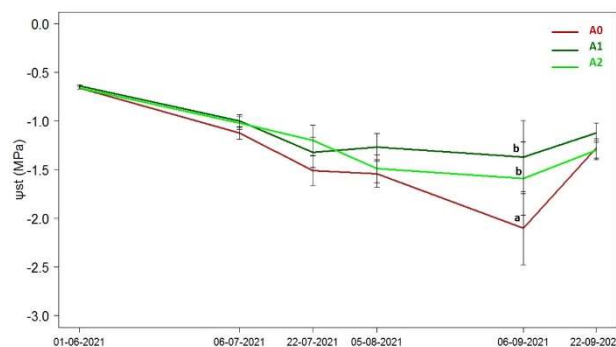


Fig.4 - Potenziale idrico a mezzogiorno del fusto (Ψ_{st}): lettere diverse indicano una differenza significativa (p -value<0.05). A0 = controllo; A1 = dose completa di ammendante; A2 = metà dose di ammendante.

Fig.4 - Stem midday water potential (Ψ_{st}): different letters indicate a significant difference (p -value<0.05). A0 = control; A1 = complete dosage of soil amendment; A2 = half dosage of soil amendment.

Conclusioni

Questo studio dimostra che l'aggiunta di ACM al suolo all'inizio della stagione irrigua aumenta il contenuto idrico giornaliero del suolo sia con il dosaggio completo (A1) che con quello dimezzato (A2), con una performance leggermente migliore per A1 in termini di contenuto idrico del suolo. Questi risultati sono stati meglio evidenziati dall'uso dell'indice di stress idrico REW. L'aumento del contenuto idrico del suolo ha portato a un incremento dei valori di Ψ_{st} (potenziale idrico del fusto), al di sopra o vicino alla soglia di stress idrico (-1,5 MPa). Nelle cultivar di pesco a maturazione tardiva con comportamento conservativo, è importante considerare il giusto indice per rilevare lo stato idrico della pianta. Infatti, in condizioni di leggero stress idrico, il potenziale idrico del fusto ha confermato la sua affidabilità come indice basato sulla pianta. Considerando che la dose dell'ammendante non ha influenzato la variabilità dei parametri del suolo e dell'acqua e le prestazioni della pianta in generale, sarebbe auspicabile utilizzare la dose dimezzata per ridurre i costi di gestione. Ulteriori studi dovrebbero approfondire la relazione ammendante-suolo-pianta, dopo applicazioni annuali, per evidenziare gli effetti a medio-lungo termine sull'immagazzinamento dell'acqua nel suolo e sul miglioramento della produzione vegetale. Nel prossimo futuro per l'agricoltura, sarà essenziale fornire metodi sostenibili per trattenere quanta più acqua possibile all'interno del suolo, limitandone al contempo l'evaporazione.

Bibliografia

- Bleu, U. UNEP/MAP-Plan Bleu: State of the Environment and Development in the Mediterranean. Athens 2009.
- Change, I.P.O.C. Ipc. Climate change 2014.
- Madsen, H.; Lawrence, D.; Lang, M.; Martinkova, M.; Kjeldsen, T. Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology* 2014, 519, 3634-3650.
- Fiori, E.; Comellas, A.; Molini, L.; Rebora, N.; Siccardi, F.; Gochis, D.; Tanelli, S.; Parodi, A. Analysis and hindcast simulations of an extreme rainfall event in the Mediterranean area: The Genoa 2011 case. *Atmospheric Research* 2014, 138, 13-29.
- Fahad, S.; Hussain, S.; Saud, S.; Tanveer, M.; Bajwa, A.A.; Hassan, S.; Shah, A.N.; Ullah, A.; Wu, C.; Khan, F.A. A biochar application protects rice pollen from high-temperature stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 2015, 96, 281-287.
- Findell, K.L.; Eltahir, E.A. An analysis of the soil moisture-rainfall feedback, based on direct observations from Illinois. *Water Resources Research* 1997, 33, 725-735.
- Wang, S.; Wang, H.; Hafeez, M.B.; Zhang, Q.; Yu, Q.; Wang, R.; Wang, X.; Li, J. No-tillage and subsoiling increased maize yields and soil water storage under varied rainfall distribution: A 9-year site-specific study in a semi-arid environment. *Field Crops Research* 2020, 255, 107867.
- Stocker, T.F. Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers, a Report of Working Group I of the IPCC, Technical Summary, a Report Accepted by Working Group I of the IPCC But Not Approved in Detail and Frequently Asked Questions: Part of the Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Intergovernmental Panel on Climate Change: 2013.
- Rashid, A.; Ryan, J. Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean-type characteristics: a review. *Journal of Plant Nutrition* 2004, 27, 959-975.
- Fernández, J.M.; Plaza, C.; García-Gil, J.C.; Polo, A. Biochemical properties and barley yield in a semi-arid Mediterranean soil amended with two kinds of sewage sludge. *Applied soil ecology* 2009, 42, 18-24.
- Campi, P.; Gaeta, L.; Mastrorilli, M.; Losciale, P. Innovative soil management and micro-climate modulation for saving water in peach orchards. *Frontiers in Plant Science* 2020, 11, 1052.
- Zhang, S.; Li, P.; Yang, X.; Wang, Z.; Chen, X. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize. *Soil and Tillage Research* 2011, 112.
- Rawls, W.; Nemes, A.; Pachepsky, Y.J.D.i.s.s. Effect of soil organic carbon on soil hydraulic properties. 2004, 30, 95-114
- Dos Santos, I.; Bettiol, W. Effect of sewage sludge on the rot and seedling damping-off of bean plants caused by *Sclerotium rolfsii*. *Crop protection* 2003, 22, 1093-1097.
- Taban, M.; Movahedi Naeini, S.J.C.i.s.s.; analysis, p. Effect of aquasorb and organic compost amendments on soil water retention and evaporation with different evaporation potentials and soil textures. 2006, 37, 2031-2055
- Zhang, Y.J.; Meinzer, F.C.; Qi, J.H.; Goldstein, G.; CAO, K.F. Midday stomatal conductance is more related to stem rather than leaf water status in subtropical deciduous and evergreen broadleaf trees. *Plant, cell & environment* 2013, 36, 149-158.
- Gaeta, L.; Amendolagine, A.; Di Gennaro, D.; Navarro, A.; Tarricone, L.; Campi, P.; Stellacci, A.; Losciale, P. Managing orchard floor for saving water in a late ripening peach cultivar: a preliminary result. In *Proceedings of the IX International Peach Symposium* 1304, 2017; pp. 207-214.
- Campi, P.; Palumbo, A.; Mastrorilli, M. Effects of tree windbreak on microclimate and wheat productivity in a Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy* 2009, 30, 220-227.
- Katerji, N.; Mastrorilli, M.; Rana, G. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy* 2008, 28, 493-507.
- Granier, A.; Breda, N.; Biron, P.; Villetto, S. A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecological modelling* 1999, 116, 269-283.
- Granier, A.; Bréda, N.; Biron, P.; Villetto, S.J.E.m. A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. 1999, 116, 269-283.
- Zhang, R.; Wang, D.; Sun, H.; Wei, C.; Wang, L.J.H.S.J. Comparison of transpiration of differently aged apple orchards on the Loess Plateau of China at multiple temporal scales. 2021, 66, 979-990.
- Tognetti, R.; Giovannelli, A.; Lavini, A.; Morelli, G.; Fragnito, F.; d'Andria, R.J.A.; Meteorology, F. Assessing environmental controls over conductances through the soil-plant-atmosphere continuum in an experimental olive tree plantation of southern Italy. 2009, 149, 1229-1243.
- Campi, P.; Gaeta, L.; Mastrorilli, M.; Losciale, P.J.F.i.P.S. Innovative soil management and micro-climate modulation for saving water in peach orchards. 2020, 11, 1052.
- Lordan, J.; Pascual, M.; Fonseca, F.; Villar, J.; Rufat, J.J.S.; Research, T. Use of rice husk to enhance peach tree performance in soils with limiting physical properties. 2013, 129, 19-22.
- Liu, Q.; Piao, S.; Janssens, I.A.; Fu, Y.; Peng, S.; Lian, X.; Ciais, P.; Myneni, R.B.; Peñuelas, J.; Wang, T. Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost. *Nature communications* 2018, 9, 426.
- Sadras, V.; Milroy, S. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: A review. *Field crops research* 1996, 47, 253-266.
- Rahmati, M.; Davarynejad, G.H.; Génard, M.; Bannayan, M.; Azizi, M.; Vercambre, G. Peach water relations, gas exchange, growth and shoot mortality under water deficit in semi-arid weather conditions. *PLoS One* 2015, 10.

EFFETTO DELLA PACCIAMATURA SULL'EFFICIENZA DI USO DELL'ACQUA DI UN PESCHETO IN AMBIENTE MEDITERRANEO

EFFECTS OF MULCHING ON WATER USE EFFICIENCY OF PEACH ORCHARD UNDER MEDITERRANEAN CLIMATE

Gabriele De Carolis, Maria Roberta Bruno, Mariagrazia Piarulli, Pasquale Campi, Anna Francesca Modugno, Liliana Gaeta, Nicola Martinelli, Valerio Minoretti, Pietro Maggi, Alessandro Ciurlia, Alessandro Azzolini, Gianfranco Rana, Rossana Monica Ferrara*

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

*rossana.ferrara@crea.gov.it

Abstract

The study was carried out on 5-year-old peach trees cultivated at in southern Italy, under two mulching treatments: Black/White cover, Black Silver cover. Actual transpiration (T) along two growth seasons was measured by the sap flow thermal dissipation method (TDM) in selected plants for three treatments. Water use efficiency (WUE) and water productivity (WP) were calculated as ratio T/water supply (precipitation plus irrigation) and yield/T, respectively. Considerations on the effects of the mulching type on WUE and WP at different time scales, from hour to season, are deeply discussed. Here, moreover, we show how the microclimate of the soil environment, in terms of water content, changes in the different treatments. The WUE of mulching color treatments results higher than the control in both experimental seasons.

Parole chiave

Flusso di linfa, metodo della dissipazione del calore, produttività dell'acqua, traspirazione, teli pacciamanti

Keywords

Sap flow, Thermal dissipation method, water productivity, transpiration, mulching covers

Introduction

The coloured plastic mulches on soil surface are used for different aims, mainly for modifying the radiation budget and decreasing the soil water loss (Amare and Desta, 2021). Due to the effect of different colours on quality and quantity of light reflected by the mulches, impacts of coloured films on plant growth and yield of plants can be detected (Matsoukis and Gasparatos, 2015). Other effect of mulching regards the impact on soil temperature (e.g., white cools the soils) and weed and insect infestation.

The observed reduction of water availability imposes water saving in every production sector (UNEP/MAP-Plan Bleu, 2009), then, considering the improvement of water storage by mulching, the use of plastic mulches has become increasingly popular in orchards in recent years (Suo et al., 2019). Campi et al. (2020) demonstrated that mulching reduces evapotranspiration (ET) and improves fruit yield in peach orchards. However, to correctly evaluate the water use efficiency (WUE) of a crop, it is necessary to determine with high accuracy the crop water losses (Katerji et al., 2008), by measuring transpiration (T) at plant level. 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). Moreover, further research it is necessary to determine how the mulching covers affect the partitioning of ET in T and evaporation (E), in the different ecosystems and for the different crops (Wang et al., 2015).

The main objective of this study is to preliminarily evaluate the effect of mulching on actual transpiration, focusing attention on the seasonal water use efficiency (WUE) and

water productivity (WP) of a peach orchard where two types of commercial-coloured mulches were applied for two consecutive growing seasons.

Material and Methods

The trial was carried out for two years (2021, 2022) at the experimental farm of CREA-AA, located in Southern Italy (Rutigliano, Bari, 41° 01' N, 17° 01' E, altitude 147 m a.s.l.). Monitoring was performed on a five-years old peach orchard (45 m x 60 m) of late ripening (cv. Redcall), grown in a traditional pot and grafted onto rootstock GF677, spaced 5.0 m x 5.0 m. The site is submitted to Mediterranean semi-arid climate (Campi et al., 2009). The soil features are described in Losciale et al. (2020).

The peach orchard was irrigated by a drip irrigation system with two drippers per tree and a flow rate of 16 L h⁻¹ per dripper: 116.5 mm and 135.8 mm of water were by irrigation (I) during 2021 and 2022, respectively, sufficient to restore 100% of the crop evapotranspiration.

Two different plastic mulching (treatments) were applied (PolyEur srl, Benevento, Italy) at the beginning of the first vegetative season (14th April 2021) along the rows: C/902 Black White Orchard (hereafter "white", PAR diffusivity 75%, measured reflectance 38%; P1); C/820 Black Silver Orchard (hereafter "silver", PAR diffusivity 28%, measured reflectance 26%; P2). A bare soil strip about two-meter large was maintained between two longitudinal strips of mulching material. Treatments together with the no mulching - control were arranged under a randomized complete block design with three replicates.

The peach actual transpiration (T) was measured by the TDM method (Granier, 1987), in three plants per treatment, representative of the whole stand, selected by the trunk diameters frequency distribution. The FLGS-TDP Model XM1000 sap velocity system (DYNAMAX Inc, Houston TX 77099 USA) with CR1000X data logger (Campbell Scientific, Utah, USA) was used: The TDP30 sensor was installed approximately 0.60 m above the soil surface, 0.20 m above the plant graft union, at the north face and protected by reflecting material; data were acquired continuously and stored as average at 15 minutes intervals, then hourly data were calculated and stored. In this first preliminary study, following Wang et al. (2015) among others, we do not consider: (i) the TDM specific calibration; (ii) the corrections for both azimuthal and transversal gradients, and for the damages caused by the trunk wounds by the probes set up. The T was monitored only during the vegetative season, when the plants are photosynthetically: in this study the periods May - September are analysed.

Soil water content (θ) and soil temperature (T_{soil}) were measured at -0.15, -0.3, and -0.45 m from the soil surface using capacitive probes (Sentek, Drill & Drop, Sentek Sensor Technologies, Australia) starting from 06th May 2021, installed on the same plants of T monitoring. Soil water availability was described through the relative extractable water (REW, unitless) calculated using the average soil water content across positions around the tree and soil layers as:

$$REW = \frac{\theta - \theta_{min}}{\theta_{max} - \theta_{min}} \quad (1)$$

where θ is the actual soil water content in the root zone, θ_{min} and θ_{max} are the minimum and maximum soil water content observed during the experiment, respectively.

At harvest (09 September 2021; 06 September 2022) tree productivity (kg tree^{-1}) was measured on the same plants used in measure of T. This data was used to determine the potential production per hectare (yield, t ha^{-1}).

Air temperature, relative humidity, precipitation and incident global radiation were continuously measured at 10 s interval by standard meteorological sensors on a reference meadow 350 m far from the experimental field and recorded at hourly frequency by an automatic weather station (Campbell Sci., USA). Crop WUE and WP (Fernández et al., 2020) were determined in the two growth seasons as:

$$WUE = \frac{T}{P+I} \quad (2)$$

$$WP = \frac{yield}{T} \quad (3)$$

Results and Discussion

Firstly, the dynamics of measured θ at daily scale (data not shown) revealed that the water supplied by precipitations has direct effect on all treatments. In fact, for mulching treatments the precipitated water filters through privileged channels, both by infiltrating laterally and through the inevitable accidental cracks in the sheets. Therefore, in the calculation of WUE, both precipitations and irrigations must be considered for all treatments (Wang et al., 2015).

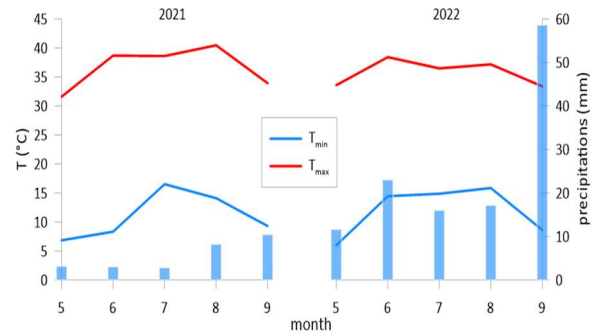


Fig.1 – Minimum, maximum air temperature and precipitations at monthly in the experimental site.

Fig.1 – Temperatura minima e massima dell'aria e precipitazioni a scala mensile nel sito sperimentale.

In Fig. 1. it is clear that the two years were characterized by quite contrasting weathers: year 2021 being much drier than the year 2022. Moreover, the year 2022 presented extreme high values of the air temperature and vapour pressure deficit (data VPD not shown). By considering the potential evaporation of the atmosphere (data not shown), calculated by the Penman model (Katerji and Rana, 2011), during the second experimental season the water demand of atmosphere is greater than in the first season. A violent hailstorm occurred several days before the harvest in 2022.

Different authors (Fernández et al., 1997; Grossiord et al., 2015), indicated a REW value of 0.4 as critical threshold to reveal the water stress in woody species under arid and semiarid Mediterranean conditions. The figure 2 shows that the crop, under any treatment, was generally under good water conditions in 2021 and 2022, except for the final period of the growth season, correspondent to the September month. Furthermore, the control crop showed an increasing stress since the August month of 2022 year, until the end of the season, when it was under severe water stress. Actually, daily REW values (data not shown) indicated that, occasionally, the crop under both mulching covering treatments was under water stress for two – four days consecutively, usually just before the scheduled irrigation. In these moderate stress periods, irrigation and/or rain restored the good tree water conditions in a couple of days.

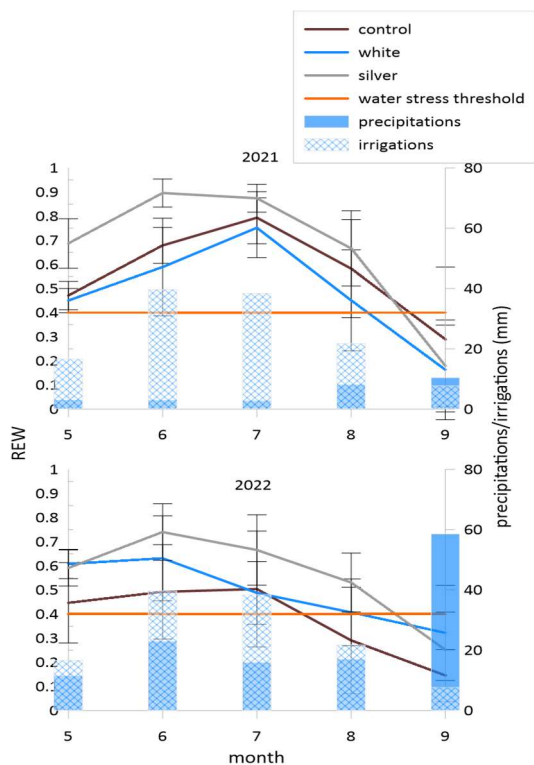


Fig.2 – Relative extractable water at monthly scale for all treatments; precipitation and irrigations.

Fig.2 – Relative extractable water a scala mensile in tutti i trattamenti; precipitazioni e irrigazioni.

The peach trees showed a specific transpiration diurnal course during day (see sample days in Fig. 3), with a sudden increase in early morning and a gentle decreasing until late afternoon, when it decreases steeper until evening. According to Wang et al. (2015), maximum levels of water-use occurred at 08:00 h, and near maximal values remained through-out the midday and afternoon. In our conditions, T in the control plot is generally lower than in the mulching treatments. More specifically, when the day is quite clear and the crop is in good water condition (Fig. 3a) the transpiration of white mulching cover was slightly higher (+6.5%) than that treated with the silver cover, probably because of the higher available energy due to the higher reflectivity of the white surface with respect to the silver one (Ham et al., 1993); this point requires further detailed developments. When the crop under white treatment is under water stress (Fig. 3b, REW=0.22) it transpires slightly lower (-13.2%) than the silver treatments.

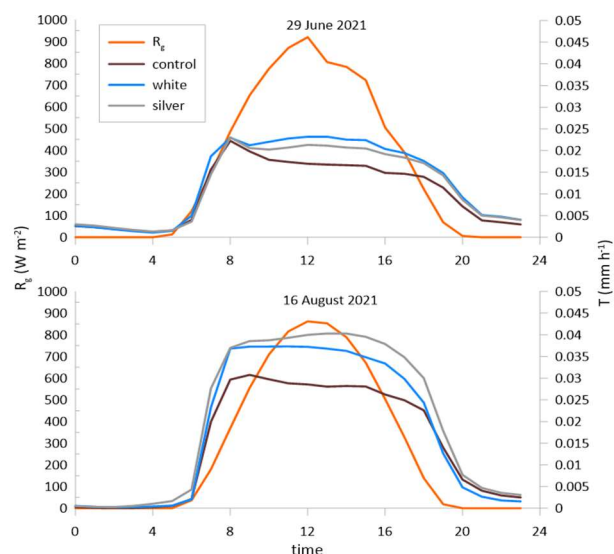


Fig.3 – Hourly path of transpiration (T) of three treatments and global radiation (R_g) in two sample days, characterized by different soil water conditions.

Fig.3 – Andamento orario di traspirazione (T) nei tre trattamenti considerati e radiazione globale (R_g) in due giorni presi come esempio di due diverse condizioni idriche del suolo.

The water losses by transpiration during the growing season were used to calculate the monthly transpiration rates (mm month^{-1}) as presented in fig. 4. During the growth period, when gradual increases in the intensity and frequency of precipitation, air temperature and available energy were observed, peach orchard T gradually increased and became more variable. In absolute terms, in the first experimental season the peach trees transpire less than the second season, because of the greater availability of energy which increased the evaporation demand of the atmosphere. The fig. 4 also shows that the transpiration of the control trees was always lower than that of the other mulching treatments. Moreover, the peach trees treated with the silver covering generally transpired as well as or more than the trees treated with the white covering, except in the first three months of 2021. Further research is necessary to study the impacts of covering color on the partitioning of ET in E and T.

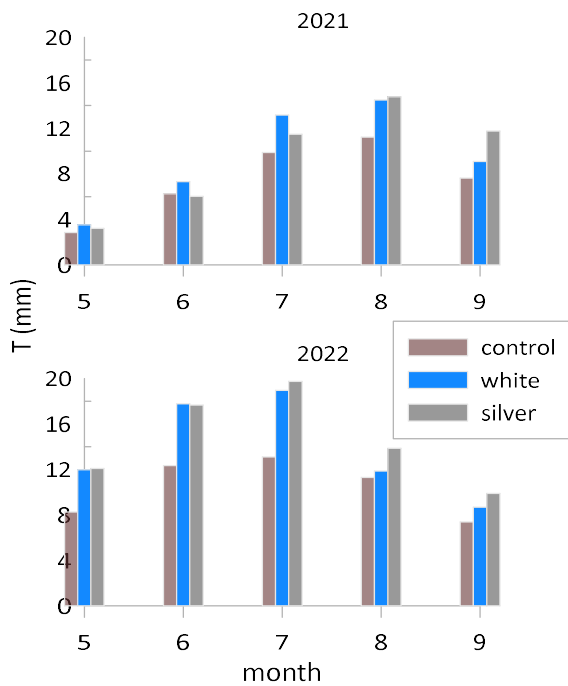


Fig.4 – Cumulated transpiration (T) at monthly scale for all treatments during the two experimental seasons.

Fig.4 – Traspirazione cumulata (T) a scala mensile in tutti i trattamenti nelle due stagioni colturali.

The summary of cumulated values of transpiration, water supplied by irrigation and precipitation, yield, water use efficiency and productivity are given in table 1 for the two experimental seasons and the three treatments. The total T of both treatments is higher than the control in both seasons as well as the yields. The yield in the second year has been strongly compromised by the hailstorm in 2022, affecting of course the WP. In fact, it was lower in 2022 than in 2021 year, being not significantly different among treatments in 2021 and slightly lower in the silver colour treatment than the control and white treatments in 2022. The WUE was generally higher in the mulching treatments than in the control in both seasons. Moreover, the WUE of the silver treatment was slightly higher in the silver colour than in the white one. Our results are in accordance with Wang et al. (2015), who found greater WUE in mulched crop than in the control one, mainly attributing this difference to the increasing of ET due to increasing fraction of evaporated water.

Tab.1 - Summary of transpiration, yield, water use efficiency (WUE) and water productivity (WP) in the two experimental seasons for all treatments.

Tab.1 - Sintesi di traspirazione, resa, water use efficiency (WUE) e water productivity (WP) nelle due stagioni e per tutti i trattamenti.

Year	Transpiration (mm)			water (mm)	Yield (gm ⁻²)			WUE			WP (g kg ⁻¹)		
	control	white	silver		control	white	silver	control	white	silver	control	white	silver
2021	37.8	47.6	47.2	187.5	290	360	360	0.20	0.25	0.25	7.6	7.5	7.5
2022	52.4	69.2	73.3	262.1	360	490	370	0.20	0.26	0.28	6.9	7.1	5.1

Conclusions

Mulch covers increased soil water content in the whole peach orchard growth season. While the actual transpiration in mulched plots was greater than in control. Thus, in this semi-arid ecosystem, compared with control, the peach WUE increased when the soil is mulched by colored covers. While, the WP is essential invariated, except for the silver treatment, which showed the lowest WP value in the second year of experiment. The hailstorm could have altered the final results; therefore, further studies are needed to obtain a better understanding of the leaf water-use efficiency, drought resistance capacity, and photo-synthetic characteristics of mulching treatments aimed at reducing transpiration in Mediterranean region.

Acknowledgements

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

- 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, 300(9), D05109.
- Amare, G, Desta, B, 2021. Coloured plastic mulches: impact on soil properties and crop productivity. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 8, 4.
- Bleu, U. UNEP/MAP-Plan Bleu: State of the Environment and Development in the Mediterranean. Athens 2009. <https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/201607121602.pdf> (accessed on 24 April 2023).
- Campi, P.; Palumbo, A.; Mastroiilli, M. 2009, Effects of tree windbreak on microclimate and wheat productivity in a Mediterranean environment. *Eur. J. Agron.* 30, 220–227.
- Campi, P., Gaeta, L., Mastroiilli, M., & Losciale, P. 2020. Innovative soil management and micro-climate modulation for saving water in peach orchards. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1052.
- Fernández, J-E, Moreno, F, Girón, IF, Blázquez, OM, 1997. Stomatal control of water use in olive tree leaves. *Plant and Soil* 190: 179–192.
- Fernández, J.E-. Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., Cuevas, M.V., 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural Water Management*, 237, 106074.
- Granier, A, 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sapflow measurements. *Tree Physiol.* 3, 309–320.
- Grossiord, C, Forner, A, Gessler, A, Granier, A, Pollastrini, M, Valladares, F, Bonal, D, 2015. Influence of species interactions on transpiration of Mediterranean tree species during a summer drought. *Eur. J. Forest Res.* 134: 365–376.
- Ham, JM, Kluitenberg, JG, Lamont, WJ, 1993. Optical Properties of Plastic Mulches Affect the Field Temperature Regime *J Amer Soc Hort Sci* 18(2):188-193.
- Losciale, P., Gaeta, L., Manfrini, L., Tarricone, L., Campi, P., 2020. Orchard floor management affects tree functionality productivity and water consumption of a late ripening peach orchard under semi-arid conditions. *Appl. Sci* (10) 8135, 1-20.
- Matsoukis, A., Gasparatos, D., & Chronopoulou-Sereli, A. (2015). Mepiquat chloride and shading effects on specific leaf area and K, P, Ca, Fe and Mn content of *Lantana camara* L. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 121-125.
- Katerji, N, Mastroiilli, M, Rana, G, 2008. Water use efficiency of crops cultivated in Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28(4), 493-507.
- Katerji, N, Rana, G, 2011. Crop reference evapotranspiration: a discussion of the concept, analysis of the process and validation. *Water Resources Management*, 25, 1581-1600.
- Rana, G, Katerji, N, 2000. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *European Journal of Agronomy*, 13(2-3), 125-153.
- 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. *Agricultural Water Management*, 154, 20-28.

VALUTAZIONE DELLE VARIABILI AGRO-CLIMATICHE MISURATE IN TEMPO REALE SULLA CRESCITA DEL PESCO PACCIAMATO (*PRUNUS PERSICA* (L.) BATSCH) IN DUE ANNI PRODUTTIVI

EVALUATION OF AGRO-CLIMATIC VARIABLES MEASURED IN REAL-TIME ON THE GROWTH OF MULCHED PEACH (*PRUNUS PERSICA* (L.) BATSCH) TREES IN TWO PRODUCTION YEARS

Maria Roberta Bruno^{1*}, Onofrio Cappelluti², Rossana Monica Ferrara¹, Gabriele De Carolis¹, Anna Francesca Modugno¹, Liliana Gaeta¹, Gianfranco Rana¹, Valerio Minorenti¹, Pasquale Campi¹

¹*Research Centre for Agriculture and Environment, CREA-Council for Agricultural Research and Economics, Bari, 70125, Italy; mariaroberta.bruno@crea.gov.it

²University of Bari Aldo Moro - Department of Soil, Plant and Food Sciences (Di.S.S.P.A.); onofrio.cappelluti@uniba.it

Abstract

In an experimental farm of Research Centre for Agriculture and Environment (CREA-AA) located in southern Italy, data from continuous monitoring of peach fruit growth (cv. Calred), weather and soil (temperature and water content) during the final fruit development phase of two seasons 2021 and 2022 (6 - 18 August) were analysed. The trial examined the differences between control (P0) and two mulch cloths: black/white (P1) and black/silver (P2) plastic film. Fruit monitoring was conducted using a system of custom-built fruit diameter gauges. The data, which was manipulated as less as possible using z-score standardization, showed that the relative growth rate (RGR) was mainly affected by vapor pressure deficit and, to a lesser extent, by soil temperature in both years. During the stable weather conditions occurs in 2021, the RGR measured in P1 was greater than in P2 and P0.

Parole chiave

pacciamatura riflettente, tasso di crescita relativo, z-scores, contenuto idrico del suolo, deficit di pressione di vapore

Keywords

reflective mulching, relative growth rate, z-scores, soil water content, vapour pressure deficit

Introduction

Over the past three decades, Mediterranean regions have experienced global warming that has caused a shift in temperature patterns between seasons, resulting in shorter winters and earlier springs (Lionello, 2014; Lionello and Scarascia, 2018). This change has led to an increase in vapor pressure deficit (VPD), which is mainly related to water use in fruit trees (López et al., 2021). Additionally, this shift in temperature patterns has caused a significant reduction in rainfall (Hunt et al., 2019) and an overall increase in temperatures that are projected to rise by up to 2°C by the year 2100 (Malhi et al., 2021). Unfortunately, rainfall events have become increasingly extreme and violent (Armal et al., 2018), leading to devastating floods and landslides. (Frame et al., 2020). Plants are among the living organisms that are best suited for studying the effects of climate on phenology because they can adapt to changes in climatic conditions in their habitats through various adaptation mechanisms (Gordo and Sanz, 2010). As such, it is important to continuously monitor climatic and soil factors related to the vegetative-productive cycle of plants in agriculture to plan interventions wisely and avoid wasting resources, particularly water. Fruit crops require a significant amount of water to produce a good yield, with peach trees requiring approximately 150 liters of water per plant (Frecon, 2002). Therefore, studies are required to improve and assess the water use efficiency of fruit crops (Jiménez et al., 2020).

Colored mulching films have become increasingly popular in orchards in recent years because they improve the water and heat cycle in the soil ecosystem (Suo et al., 2019). Mulching has been shown to reduce evapotranspiration and improve fruit yield in peach orchards (Campi et al., 2020). However, it is important to constantly monitor soil temperature and moisture when using mulching films, as they can significantly impact the soil environment (Fares and Alva, 2000; Wang et al., 2015). To monitor fruit development, some devices have been developed in recent decades that allow for the constant measurement of fruit gauge diameter and provide real-time information on fruit growth (Boini et al., 2019; Morandi et al., 2007). Fruit health should be monitored during different growth phases, especially during the final phase when plants require large amounts of water (Morandi et al., 2009).

This preliminary study aims to analyze recorded data (RD) from continuous monitoring of weather, soil, and fruit from the day of the year (DOY) 219 to 230 in 2021 and 2022, to understand how vapor pressure deficit (VPD) and pedo-climatic factors can impact the development of peach fruit during the final growth phase.

Material and Methods

In 2021 and 2022, a trial was conducted at the CREA-AA experimental farm in Rutigliano, Italy (lat.: 40.590 N, long.: 17.010 E, alt.: 147 m asl) on 6-year-old peach trees (*Prunus*

Persica L.), cv Calred, grafted on GF 677 with a 5m x 5m planting. Fruit growth was monitored using a custom-built fruit gauge developed by Winet, Srl. (Cesena, Italy) which was able to acquire changes in fruit growth every 15 minutes. The trial involved two different mulching films with colorations C/902 Black White and C/820 Black Silver (PolyEur Srl., Benevento, Italy). Standard meteorological sensors were used to collect weather data, including air temperature, relative humidity, precipitation, and incident global radiation. These sensors were continuously measured at 10-second intervals over a fescue grass (*Festuca arundinacea* Schreb.) near the experimental field and hourly recorded by an automatic weather station (Campbell Sci., USA). The fruit was monitored during the final production phase (5 August to 7 September) in 2021 and during all development phases in 2022. To compare the data from both years, the period from 6 to 18 August (DOY 219 to DOY 230) was chosen because a hailstorm occurred on 19 August 2022, which dislodged several fruits on which the fruit gauges were placed. The fruits that had recorded data (RD) with an R_2 between 0.84 and 0.98 during the period under study were chosen for analysis. Daily data of 7 fruits per trial were standardized using z-scores to compare recorded data (RD) of fruit diameter with other variables that have different units. The hysteresis curves were analyzed and compared with vapor pressure deficit (VPD), which was used to assess the trend in fruit growth over 24 hours and its response to VPD. The relative growth rates (RGR) were calculated during the monitoring period using the equation:

$$RGR = [\ln(RD_t) - \ln(RD_0)] / (t_1 - t_0).$$

Soil water content (SWC) and temperature (T_{soil}) were monitored using FDR probes (Sentek Sensor Technologies, Stepney, South Australia, Australia) installed in the three treatments (P0, P1, P2) in three replicates. The Spearman correlation coefficient was determined to verify the correlations between RGR, environmental, and soil variables. The raw data, z-scores, and soil data were analyzed using analysis of variance and Tukey's multiple comparisons. All statistical analyzes were performed using the R statistical software environment (<http://www.r-project.org>). The magnitude of hysteresis curves was divided into four groups according to Khosravi et al. (2021): no hysteresis, incomplete hysteresis, partial hysteresis, and full hysteresis, which indicate the daily growth of the fruit changes based on the variation of VPD. The hysteresis curves vary following a clockwise or anticlockwise loop.

Results and Discussion

Meteorological conditions during the 2021 monitoring period (data not shown) exhibited mean values of temperature and VPD of 27 °C and 1.82 kPa, respectively, with 15 mm of water applied, out of which only 2.5 mm was from rain. In 2022 (data not shown), the average temperature was 25 °C and the average VPD was 0.95 kPa, with more notable temperature fluctuations compared to 2021. A total of 22 mm of water was applied, out of which 10 mm was from rain. The study revealed that the relationship between VPD and standardized fruit data differed for different fruits

and days in both years. Analysis of the 91 daily hysteresis trends (Table 1) for selected fruits per treatment indicated that, in 2021, most fruits in all three treatments showed no hysteresis curves. The percentage values of different hysteresis widths did not significantly differ between the treatments, except for the small number of full hysteresis curves in the P1 treatment. In 2022 (Table 1), the number of hysteresis of no type increased and accounted for almost all measured hysteresis. The percentage of different hysteresis types did not vary significantly across treatments, although full curves were not recorded in treatment P2, unlike in 2021.

Tab.1 – Percentages of hysteresis curves observed in P0, P1, P2 treatments in 2021 and 2022 classified according to Khosravi et al., (2021)

Tab.1 – Percentuali di curve di isteresi osservate nei trattamenti P0, P1, P2 nel 2021 e nel 2022 classificate secondo Khosravi et al.

2021				2022			
Hysteresis	P0	P1	P2	Hysteresis	P0	P1	P2
No	63%	66%	63%	No	82%	86%	87%
Partial	30%	26%	27%	Partial	9%	11%	11%
Incomplete	7%	8%	8%	Incomplete	5%	2%	2%
Full	1%	0%	2%	Full	3%	1%	0%

The instruments used to measure fruit size in this study may have potential stability issues over time, which has been noted in previous research (Scalisi et al., 2020). However, during the study period, the instruments were found to maintain sufficient stability. The hysteresis measurements indicate that the partial and incomplete hysteresis observed in 2021 was likely due to the VPD trend (Zucchini et al., 2021). In contrast, the lack of hysteresis observed in 2022 may be attributed to earlier fruit ripening compared to 2021, as reported by Khosravi et al., (2021), who found that the percentage of complete clockwise hysteresis declines with increasing fruit ripeness.

In Figure 1, the relative growth rates for the three treatments during the considered period (DOY 219 to DOY 230) in 2021 are presented. The growth rates for all three treatments followed a pattern of alternating decreasing and increasing phases, with the increasing phases occurring on the DOY when rain and irrigation occurred (DOY 221, 229). However, the P1 treatment exhibited a significantly different trend compared to P0 and P2.

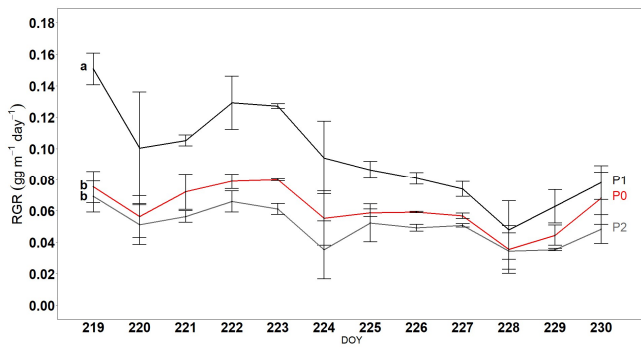


Fig.1 – Variation of Relative Growth Rate (RGR) from DOY219 to 230 in 2021. P0 (control), P1 (Black/White mulching), P2 (Black/Silver mulching). Different letters indicate a significant difference (p -value <0.05).

Fig.1 - Variazione del tasso di crescita relativo (RGR) dal DOY 219 a 230 nel 2021. P0 (controllo), P1 (pacciamatura Nera/Bianca), P2 (pacciamatura Nera/Argento). Le lettere diverse indicano una differenza significativa (valore $p <0,05$).

In 2022 (Figure 2), the relative growth rates in the three treatments alternated between increasing and decreasing phases, although less pronounced than in 2021. Overall, from DOY 221, the growth rates in all treatments showed a decreasing trend. A growth peak was observed in the control (P0) on DOY 220, when irrigation occurred. However, in the following days, the growth curve of the control decreased visibly, recording lower values compared to the two mulching treatments (P1, P2). Figure 2 shows a general decrease in RGR patterns in all three treatments in 2022 compared to 2021 (Figure 1), likely due to earlier fruit ripening.

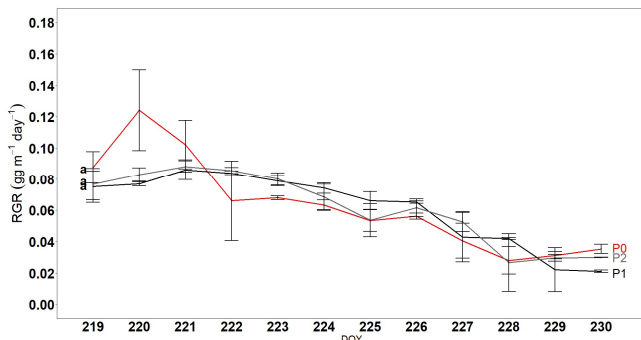


Fig.2 - Variation of Relative Growth Rate (RGR) from DOY 219 to 230 in 2022. P0 (control), P1 (Black/White mulching), P2 (Black/Silver mulching). Different letters indicate a significant difference (p -value <0.05).

Fig.2 - Variazione del tasso di crescita relativo (RGR) dal DOY 219 a 230 nel 2022. P0 (controllo), P1 (pacciamatura Nera/Bianca), P2 (pacciamatura Nera/Argento). Le lettere diverse indicano una differenza significativa (valore $p <0,05$).

Additionally, analyses of fruit relative growth rates showed that irrigation and rainfall led to peaks in RGR in both years, highlighting the effect of soil water content on growth rates (Priya and Bhat, 1999; Van Zyl, 1984). In 2021, the RGR of the different treatments appears to vary in response to soil water content (Figure 3), although with relatively low values of R^2 . It is interesting to note that higher relative growth rates were observed in the P1 treatment compared to P2 at the same soil water content values, which could be attributed to the difference in soil temperatures (data not shown) between the two treatments. In 2021, the weather conditions were more stable and SWC had a positive effect on both mulch treatments, in agreement with Losciale et al., (2020), who found that reflective mulching helped maintain favorable pedo-climatic conditions.

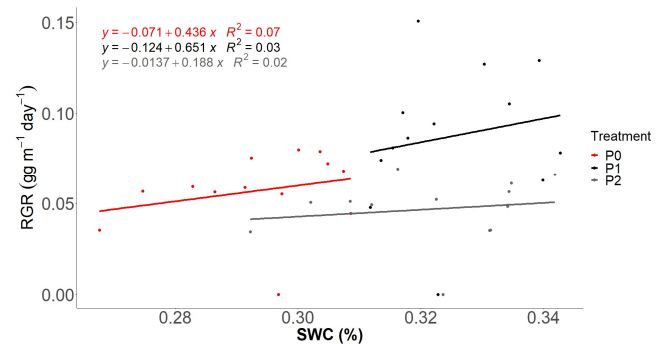


Fig.3 – Relative Growth Rate (RGR) in 2021 in function of soil water content (SWC) in the three treatments, P0 (control), P1 (Black/White mulching), P2 (Black/Silver mulching); (p -value <0.05).

Fig.3 – Tasso di crescita relativo (RGR) nel 2021 in funzione del contenuto idrico del suolo (SWC) nei tre trattamenti, P0 (controllo), P1 (pacciamatura Nera/Bianca), P2 (pacciamatura Nera/Argento); (p -value <0.05).

In 2022, the linear correlation between RGR and SWC (Figure 4) did not show a clear trend among the treatments. Also in 2022, the R^2 values for the correlation between RGR and SWC was lower than in 2021. The effects of colored mulches, according to Díaz-Pérez and Dumičić (2022), can vary depending on differences in climatic conditions, not only between different seasons but also within the same season of different years.

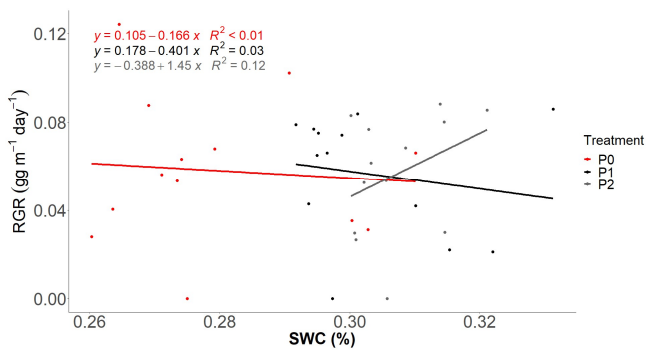


Fig.4 – Relative Growth Rate (RGR) in 2022 in function of soil water content (SWC) in the three treatments, P0 (control), P1 (Black/White mulching), P2 (Black/Silver mulching); (p -value < 0.05).

Fig.4 – Tasso di crescita relativo (RGR) nel 2022 in funzione del contenuto idrico del suolo (SWC) nei tre trattamenti, P0 (controllo), P1 (pacciamatura Nera/Bianca), P2 (pacciamatura Nera/Argento); (p -value < 0.05).

Relationships between relative growth rates (RGR) and meteorological parameters (VPD), soil conditions (SWC, T_Soil), irrigation, and precipitation, using the Spearman correlation coefficient (r) were evaluated (Figure 5). In both years, the RGR was negatively correlated with soil temperature and VPD, indicating that as the values of these two variables increase, the growth rate tends to decrease. These observations were reasonable because according to George and Nissen (1988), the increase in soil temperature and VPD leads to a decrease in fruit growth.

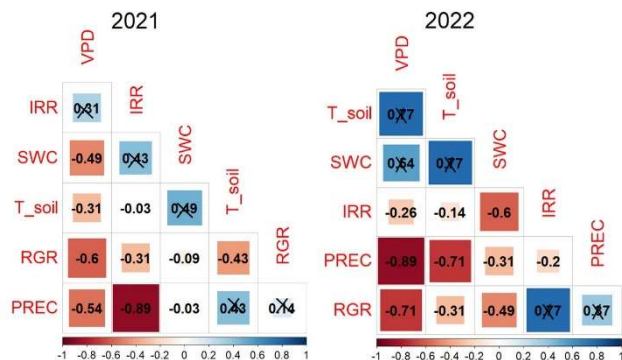


Fig.5 – The relationships (r) between Relative Growth Rate (RGR) and Vapour Pressure Deficit (VPD), Irrigation (IRR), soil water content (SWC), Temperature soil (T_soil), Precipitation (PREC) in the 2021 and 2022. The coefficients with a black-cross on them indicate statistically not significant correlations; p -value 0.05.

Fig.5 – Le relazioni (r) tra deficit di pressione di vapore (VPD), irrigazione (IRR), continente idrico del suolo (SWC), temperatura del suolo (T_soil), tasso di crescita relativo (RGR) e precipitazioni (PREC) negli anni 2021 e 2022. I coefficienti contrassegnati da una croce nera indicano correlazioni statisticamente non significative; p -value 0,05.

Conclusion

Continuous monitoring tools for the soil-plant-atmosphere system can provide valuable and timely information on peach tree growth during various production phases, potentially reducing the need for time-consuming data manipulation. With stable environmental conditions and no violent weather events, the use of mulching film C/902 Black White (P1) during the monitored period resulted in a greater relative growth rate in peach fruit, which was well-correlated to observed climatic and pedoclimatic conditions within the treatment. However, further investigation is needed to improve tools for continuously measuring fruit development, as some experimental tools exhibited criticalities requiring continuous monitoring of their functionality, particularly those placed on fruits that are subjected to various biotic and abiotic stresses. The use of precision agriculture tools, such as those employed in this study, opens up new production scenarios in which environmental resources such as water can be optimised for better management.

Acknowledgments

This study was financially supported by the PON-Water4AgriFood (PNR 2015 – 2020, Werea 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

- Armal, S., Devineni, N., & Khanbilvardi, R. (2018). Trends in extreme rainfall frequency in the contiguous United States: Attribution to climate change and climate variability modes. *Journal of Climate*, 31(1), 369-385.
- 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.
- Díaz-Pérez, J. C., & Dumičić, G. (2022). Sweet corn plant growth and yield as influenced by plastic film mulch color. *International Journal of Vegetable Science*, 1-14.
- 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.
- Frame, D. J., Rosier, S. M., Noy, I., Harrington, L. J., Carey-Smith, T., Sparrow, S. N., ... & Dean, S. M. (2020). Climate change attribution and the economic costs of extreme weather events: a study on damages from extreme rainfall and drought. *Climatic Change*, 162(2), 781-797.
- Frecon, J. L. (2002). Best management practices for irrigating peach trees. New Jersey Agricultural Experiment Station. USDA. New Brunswick, NJ USA.
- George, A. P., & Nissen, R. J. (1988). The effects of temperature, vapour pressure deficit and soil moisture stress on growth, flowering and fruit set of custard apple (*Annona cherimola* × *Annona squamosa*) 'African Pride'. *Scientia Horticulturae*, 34(3-4), 183-191.
- Gordo, O., & Sanz, J. J. (2010). Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*, 16(3), 1082-1106.
- Hunt, J. R., Lilley, J. M., Trevaskis, B., Flohr, B. M., Peake, A., Fletcher, A., ... & Kirkegaard, J. A. (2019). Early sowing systems can boost Australian wheat yields despite recent climate change. *Nature Climate Change*, 9(3), 244-247.
- 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.
- Khosravi, A., Zucchini, M., Giorgi, V., Mancini, A., & Neri, D. (2021). Continuous monitoring of olive fruit growth by automatic extensimeter in response to vapor pressure deficit from pit hardening to harvest. *Horticulturae*, 7(10), 349.
- Lionello, P., Abrantes, F., Gacic, M., Planton, S., Trigo, R., & Ulbrich, U. (2014). The climate of the Mediterranean region: research progress and climate change impacts. *Regional Environmental Change*, 14(5), 1679-1684.
- Lionello, P., & Scarascia, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18(5), 1481-1493.
- López, J., Way, D. A., & Sadok, W. (2021). Systemic effects of rising atmospheric vapor pressure deficit on plant physiology and productivity. *Global Change Biology*, 27(9), 1704-1720.
- Losciale, P., Gaeta, L., Manfrini, L., Tarricone, L., and Campi, P. (2020). Orchard floor management affects tree functionality, productivity and water consumption of a late ripening peach orchard under semi-arid conditions. *Applied Sciences* 10, 8135.
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318.
- 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.
- Priya, P. B., & Bhat, K. M. (1999). Influence of rainfall, irrigation and age on the growth periodicity and wood structure in teak (*Tectona grandis*). *IAWA journal*, 20(2), 181-192.
- Scalisi, A., O'Connell, M. G., Stefanelli, D., & Lo Bianco, R. (2020). Monitoraggio in tempo reale dello stress idrico del pesco.
- 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.
- Van Zyl, J. L. (1984). Response of Colombar grapevines to irrigation as regards quality aspects and growth. *S. Afr. J. Enol. Vitic*, 5(1), 19-28.
- 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. *Agricultural Water Management*, 154, 20-28.
- Zucchini, M., Khosravi, A., Giorgi, V., Mancini, A., & Neri, D. (2021). Is There Daily Growth Hysteresis versus Vapor Pressure Deficit in Cherry Fruit? *Horticulturae*, 7(6), 131.

VITICOLTURA ALPINA E CAMBIAMENTI CLIMATICI: RISORSE E LIMITAZIONI AMBIENTALI PER LA MATURAZIONE DELLE UVE IN VALTELLINA

ALPINE VITICULTURE AND CLIMATE CHANGE: ENVIRONMENTAL RESOURCES AND LIMITATIONS FOR GRAPEVINE RIPENING IN VALTELLINA

Davide Modena^{1*}, Gabriele Cola¹, Davide Bianchi¹, Martino Bolognini¹, Adriano Cappelletti², Osvaldo Failla¹, Ivano Foianini², Sonia Mancini², Lucio Brancadoro¹

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali – Produzione, Territorio, via Celoria 2, 20133, Milano (MI)

² Fondazione Fojanini di Studi Superiori, via Valeriana 32, 23100, Sondrio (SO)

*davide.modina@unimi.it

Abstract

Climate plays a crucial role in viticulture, influencing vine development and grape ripening due to the temporal and spatial variability of the environmental factors. This is particularly important in mountainous wine regions, like Valtellina (Italy) characterized by complex geomorphology that contribute to determine various climatic conditions at the local scale. In order to evaluate the relationship between sugar accumulation, acid degradation and environmental factors in an Alpine viticultural area, a 21-year time series of ripening curves from 15 vineyards (cv Nebbiolo) in Valtellina was coupled with different agrometeorological indices and analyzed. Timing of ripening and the level of total acidity are correlated with altitude, temperature, and summer thermal excess. Precipitation shows good correlations with all the maturity indices, so that higher precipitation led to late ripening and higher total acidity. Results suggest that, in the current warm phase, Valtellina is facing favourable environmental conditions for grapevine, with an earlier development and increased levels of sugar, while maintaining good levels of acidity.

Parole chiave

Viticultura alpina, maturazione, risorse ambientali, cambiamento climatico

Keywords

Alpine viticulture, ripening, environmental resources, Climate Change

Introduzione

Le variabili ambientali giocano un ruolo fondamentale in viticoltura, influenzando lo sviluppo della vite ed i suoi processi fisiologici. tra cui la maturazione. Durante questa importante fase fenologica, l'andamento delle temperature concorre così in modo determinante a definire la qualità delle uve, influenzandone la composizione. La degradazione dell'acido malico avviene ad esempio molto più velocemente ad alte temperature (Gladstones, 1992), così come l'accumulo zuccherino (Coombe, 1987). Temperature più miti, specialmente quelle notturne, sono generalmente considerate più favorevoli all'espressione aromatica dei vini (van Leeuwen, 2010), mentre gli eccessi termici, specialmente se prolungati nel tempo, possono avere un impatto negativo sulla maturazione, inibendo la fotosintesi (Gladstones, 1992) e ritardandone il decorso. La distribuzione delle precipitazioni, mediate dalle proprietà idrauliche del suolo del vigneto, determina invece la disponibilità di acqua nel suolo e quindi lo stato idrico delle piante (van Leeuwen et al., 2004) che può avere un impatto diverso a seconda della fase fenologica (Bianchi et al., 2021). L'alta disponibilità di acqua durante il periodo di maturazione può favorire ad esempio una maggiore crescita vegetativa, riducendo il contenuto zuccherino, il colore e il contenuto fenolico delle bacche (Storchi et al., 2005). Dall'altro lato, condizioni di stress idrico possono impattare

sulla crescita vegetativa e sullo sviluppo delle bacche, influenzando negativamente il processo di maturazione (Lakso and Pool, 2000). Lo scopo dello studio è di analizzare una serie di curve di maturazione e dati meteorologici raccolti in 15 vigneti durante un periodo di 21 anni, con l'obiettivo di valutare la relazione tra l'andamento dell'accumulo e della degradazione acidica con i fattori ambientali.

Materiali e Metodi

Area di studio

Lo studio è stato svolto in Valtellina (Sondrio), una valle alpina della Lombardia settentrionale. La valle è attraversata da Est ad Ovest dal fiume Adda ed è rinomata per la produzione di vino sin dai tempi dei romani. La coltivazione della vite (circa 1000 ha) si sviluppa prevalentemente nel versante Retico (esposto a Sud), dal fondo valle (200 – 300 m s.l.m.) fino a 700 m s.l.m. I vigneti si trovano solitamente su piccoli terrazzamenti, il Nebbiolo (localmente chiamato Chiavennasca) è la varietà più coltivata.

Caratteristiche dei vigneti

Lo studio valuta i dati raccolti dai tecnici della Fondazione Fojanini in 15 vigneti commerciali (figura 1), rappresentativi della viticoltura lungo il versante Retico della valle. I vigneti

hanno caratteristiche tecniche e gestionali omogenee. La maggior parte dei vigneti ha un'esposizione che varia da Sud-Est ad Est e una PPAR che va da 3300 a 3500 MJ/m². La temperatura media annua varia invece tra i 12,1°C e i 14,2°C, mentre la precipitazione media annua tra i 1022 mm e i 1255 mm e le ondate di calore medie annue tra 15 e 38.

Monitoraggio

In ogni vigneto la maturazione è stata monitorata effettuando sette campionamenti annui a distanza di 10 giorni, per un totale di 1575 campionamenti nel periodo di studio. L'andamento della maturazione è stato analizzato considerando il contenuto zuccherino delle bacche e l'acidità totale.

Sulla base dei dati raccolti, per ogni vigneto e per ogni anno è stata effettuata una regressione quadratica tra gli zuccheri e il giorno dell'anno (DOY) per determinare:

- Il giorno di raggiungimento dei 15° brix (**DOY15**), considerandolo come l'inizio della maturazione;
- Il giorno di raggiungimento dei 20° brix (**DOY20**), considerandolo come maturazione tecnologica delle uve;
- La lunghezza della maturazione (**RL**) calcolata come differenza tra DOY20 e DOY15.

Inoltre è stata fatta una regressione quadratica tra gli zuccheri e l'acidità totale in ogni vigneto e in ogni anno per determinare:

- L'acidità il giorno di raggiungimento dei 20° brix (**TA**).

I quattro indici di maturazione sono stati messi in relazione con le principali variabili ambientali attraverso una regressione lineare. Come fattori limitanti sono stati considerati:

- **HHH15** – accumulazione delle ore di eccesso termico dall'inizio della stagione fino al giorno di raggiungimento dei 15°Brix.
- **HHH20** - accumulazione delle ore di eccesso termico dall'inizio della stagione fino al giorno di raggiungimento dei 20°Brix.
- **ΔHHH** - accumulazione delle ore di eccesso termico dal giorno di raggiungimento dei 15°Brix al giorno di raggiungimento dei 20°Brix.
- **HW15** – numero di giorni con temperatura massima superiore a 32°C dall'inizio della stagione al giorno di raggiungimento dei 15°Brix.
- **HW20** – numero di giorni con temperatura massima superiore a 32°C dall'inizio della stagione al giorno di raggiungimento dei 20°Brix.
- **ΔHW** - numero di giorni con temperatura massima superiore a 32°C dal giorno di raggiungimento dei 15°Brix al giorno di raggiungimento dei 20°Brix.
- **Prec15** – precipitazioni totali dall'inizio della stagione al giorno di raggiungimento dei 15° Brix.
- **Prec20** – precipitazioni totali dall'inizio della stagione al giorno di raggiungimento dei 20° Brix

- **ΔPrec** – precipitazioni totali dal giorno di raggiungimento dei 15° Brix al giorno di raggiungimento dei 20° Brix.

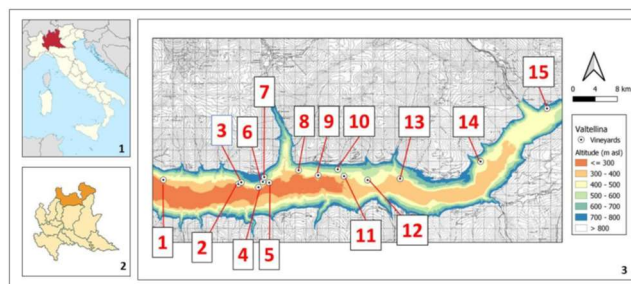


Fig.1 - Andamento degli scarti dalla media dei fabbisogni irrigui (1951-2008); la linea continua indica la media mobile.

Fig.1 - Location of the 15 vineyards and altitudinal map of Valtellina (3), an alpine valley located in the province of Sondrio (2) in the upper part of Lombardy region (1), in the North of Italy.

Risultati e Discussione

Prendendo come riferimento Sondrio, le temperature medie annue degli ultimi quarant'anni hanno seguito gli andamenti registrati in gran parte dell'Europa occidentale, con un aumento delle temperature avvenuto alla fine degli anni '80 e che si è stabilizzato nei primi anni 2000, dando inizio dell'attuale fase calda. Questo ha comportato anche un incremento dei giorni con temperatura massima superiore ai 32°C negli ultimi 20 anni rispetto al periodo precedente. Infine, le precipitazioni medie annue sono passate dagli 876 mm del periodo 1981 – 2000 ai 1013 mm del periodo 2001 – 2020 (+15%) con una maggiore variabilità inter-annuale (figura 2).

Analizzando la relazione tra la maturazione e i fattori ambientali considerati (figura 3), è stata trovata una regressione positiva e statisticamente significativa dell'altitudine con DOY15 ($R^2=0.717$; +0.028 giorno/ m slm), TA ($R^2=0.608$; +0.0073 g/l per m slm) e DOY20 ($R^2=0.554$; +0.0264 giorno/ m asl). Similmente, la temperatura media annua mostra una regressione statisticamente significativa - in questo caso negativa - con DOY15 ($R^2=0.731$; -5.034 giorni/°C), DOY20 ($R^2=0.709$; -5.6081 giorni/°C) e TA ($R^2=0.456$; -1.1891 g/l per °C). Questo non sorprende, dal moment che i due parametri sono strettamente correlati. I dati sono peraltro in linea con quanto trovato in studi precedenti, dove è stata trovata una stretta correlazione tra l'andamento della maturazione e l'altitudine (de Oliveira et al., 2019; De Souza Lima and A. Silva, 2019; Regina et al., 2010). Non sono state invece trovate regressioni statisticamente significative tra le variabili ambientali considerate e la lunghezza della maturazione, che è infatti simile per tutti i vigneti analizzati (in media 22 giorni con una deviazione standard di 4,7).

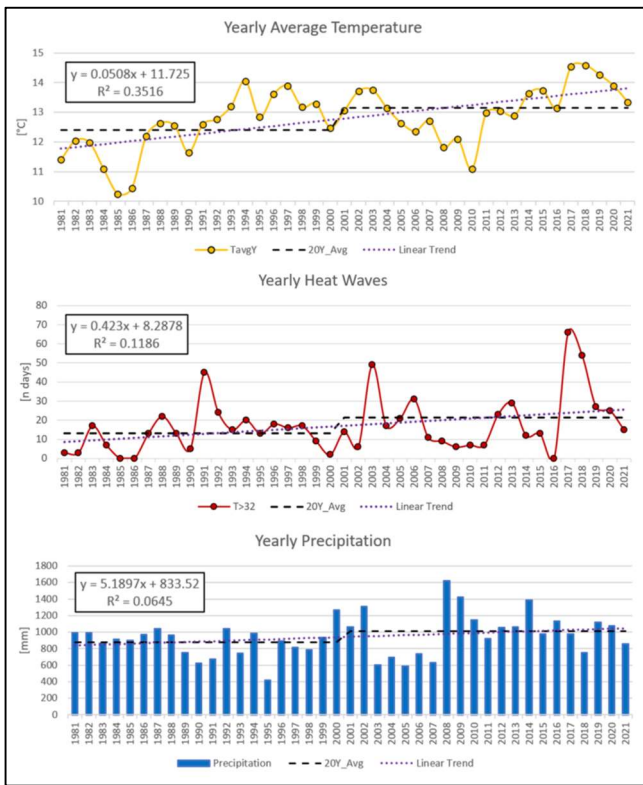


Fig.2 – Sondrio (SO) – valori annui della temperatura giornaliera media, ondate di calore cumulate (esprese come giorni con temperatura massima superiore a 32°C) e precipitazione cumulata. Per ogni grafico è riportato l'andamento della regressione lineare con R^2 ed equazione; il valore medio del periodo 1981 – 2000 e 2001 – 2021.

Fig.2 - Sondrio (SO) - yearly values of average daily temperature, cumulated heatwaves (expressed as days with maximum temperature above 32°C) and cumulated precipitation. For each charts the linear trend with R^2 and equation and the average value of the periods 1981-2000 and 2001-2020 are presented.

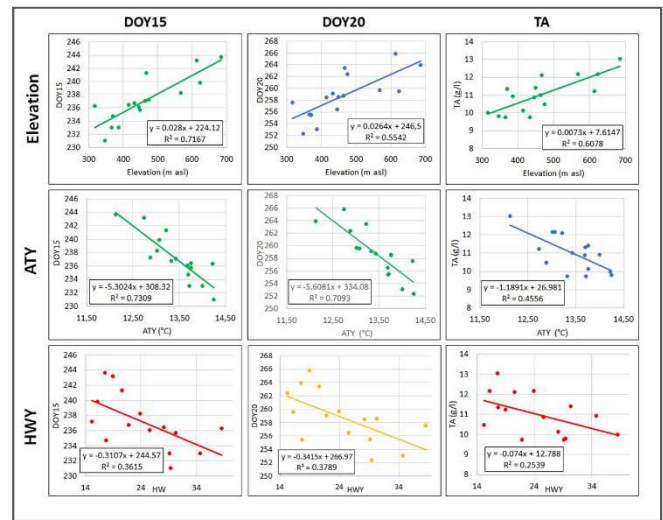


Fig.3 – Regressione lineare tra il valore medio di DOY20, DOY15, RL, TA per ogni vigneto e le caratteristiche climatiche ed ambientali (altitudine, ATY, HWY). I colori rappresentano la diversa significatività della regressione (giallo = livello di significatività 0.05; blu = livello di significatività 0.01; verde = livello di significatività 0.001).
Fig.3 - Linear regression between average values of DOY20, DOY15, RL, TA for each vineyard and the geographical and climatic features (Elevation, ATY, HWY) Color represent different significant of regression (yellow = significant at 0.05 level; blue = significant at 0.01 level; green sig-294 nificant at 0.001 level).

Passando invece ai fattori limitanti (tabella 1), i risultati hanno mostrato come DOY20 sia più influenzato dagli eccessi termici occorsi durante la maturazione, che causano un anticipo nel raggiungimento dei 20° brix. Per quanto riguarda invece le precipitazioni, sono state trovate relazioni più strette con il valore cumulato dall'inizio della stagione (Prec20), rispetto a quello registrato durante la maturazione. Sembrerebbe quindi che in questo caso il decorso della maturazione sia più legato allo stato idrico della pianta durante l'intero ciclo vegetativo. Per quanto riguarda invece DOY15, i risultati mostrano come l'inizio della maturazione sia più influenzato dalle precipitazioni, che non dagli eccessi termici, ritardando all'aumentare delle piogge. TA è invece maggiormente influenzata dagli eccessi termici durante la maturazione, che mostrano R^2 più alti e regressioni statisticamente significative nella maggior parte dei vigneti. Come noto, le alte temperature aumentano infatti la velocità della degradazione degli acidi negli acini. Si osserva inoltre un'influenza positiva delle precipitazioni cumulate, che aumentano TA. Per quanto riguarda RL infine, si registra una maggiore influenza delle precipitazioni rispetto agli eccessi termici. Questo potrebbe essere legato ai fenomeni di diluizione legati alle precipitazioni che avvengono durante la maturazione (Mullins et al., 1992). Alla luce di quanto emerso, possiamo sintetizzare che nel caso studio presentato, precipitazioni cumulate maggiori inducono maggiore TA e un ritardo nel raggiungimento di DOY15 e DOY20, mentre l'aumento delle precipitazioni durante la maturazione è

correlato solo ad un aumento della lunghezza della maturazione. D'altro canto gli eccessi termici che avvengono durante la maturazione hanno una maggiore influenza su DOY20 e TA, rispetto al loro valore cumulato durante la stagione di crescita. Infatti, le temperature durante la maturazione rivestono particolare importanza per la qualità delle uve. Infine, gli eccessi termici mostrano un effetto minore su DOY15 e RL rispetto alle precipitazioni.

Tab.1 – Regressione tra DOY20, TA, DOY15, RL TA Vs HHH20. ΔHHH. HW20. ΔHW.

Tab.1 - Regression results for DOY20, TA, DOY15, RL TA Vs HHH20. ΔHHH. HW20. ΔHW. Prec20 and ΔPrec. *** = significant at 0.001 level, ** = significant at 0.01 level, * = significant at 0.05 level.

		DOY20	TA	DOY15	RL
HHH20	R ²	0.15	0.23	0.078	-
	B	-0.03	-0.01	-0.019	-
	Sig.	***	***	***	-
ΔHHH	R ²	0.36	0.34	-	0.03
	B	-0.16	-0.03	-	0.03
	Sig.	***	***	-	*
HW20	R ²	0.13	0.21	0.089	-
	B	-0.22	-0.05	-0.482	-
	Sig.	***	***	***	-
ΔHW	R ²	0.25	0.51	-	0.03
	B	-1.26	-0.24	-	0.21
	Sig.	***	***	-	**
Prec20	R ²	0.21	0.10	0.237	-
	B	0.02	0.01	0.021	-
	Sig.	***	***	***	-
Aprec	R ²	0.02	0.02	-	0.18
	B	0.03	-0.01	-	0.05
	Sig.	*	**	-	***

Conclusioni

Nell'attuale fase calda che caratterizza anche il clima valtellinese, l'attività vitivinicola è influenzata largamente dalla variabilità tra gli anni delle condizioni ambientali, un dato importante che sottolinea la necessità, quando possibile, di attuare una gestione agronomica dinamica del vigneto, per mantenere gli standard produttivi e qualitativi desiderati e ridurre l'effetto annata. Nel contesto valtellinese, il decorso della maturazione è fortemente correlato con l'altitudine e la temperatura e lo stesso vale per l'acidità totale, come accade spesso negli areali viticoli montani. Gli eccessi termici estivi invece, i cui valori sono aumentati notevolmente negli ultimi 20 anni, sembrano anticipare il raggiungimento della maturazione tecnologica, mostrando invece una correlazione negativa con l'acidità totale. Tuttavia, i valori attuali non sembrano al momento inficiare la qualità delle uve in Valtellina. Le precipitazioni durante il periodo analizzato

sono leggermente aumentate rispetto alla fase climatica precedente, mostrando regressioni positive con tutti gli indici di maturazione considerati.

Bibliografia

- Bianchi, D., Modena, D., Cavallaro, L., Spadaccini, R., Carnevali, P., Brancadoro, L., 2021. Vineyard water stress evaluation using a multispectral index: a case study in the Chianti area. *Acta Horti* 39–46. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1314.6>
- Coombe, B.G., 1987. Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horti* 23–36. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1987.206.1>
- de Oliveira, J.B., Egipto, R., Laureano, O., de Castro, R., Pereira, G.E., Ricardo-da-Silva, J.M., 2019. Climate effects on physicochemical composition of Syrah grapes at low and high altitude sites from tropical grown regions of Brazil. *Food Research International* 121, 870–879. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2019.01.011>
- De Souza Lima, A.L.B.C.M.M.J.S., A. Silva, L.A.M.M.J.M.C.S. de., 2019. 'Niágara Rosada' and 'Isabel' grapes quality cultivated in different altitudes in the state of Espírito Santo, Brazil. *Emir J Food Agric* 1014. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i12.1882>
- Gladstones, J., 1992. *Viticulture and Environment*, Winetitles., ed. Adelaide.
- Lakso, A., Pool, R., 2000. Drought stress effects on vine growth, ripening and implications for wine quality., in: *Proc 29th Annual New York Wine Industry Workshop*. Cornell University, NY, pp. 86–90.
- Mullins, M., Bouquet, A., Williams, L., 1992. *Biology of the grapevines*. Cambridge.
- Regina, M. de A., Carmo, E.L. do, Fonseca, A.R., Purgatto, E., Shiga, T.M., Lajolo, F.M., Ribeiro, A.P., Mota, R.V. da, 2010. Influência da altitude na qualidade das uvas "Chardonnay" e "Pinot Noir" em Minas Gerais. *Rev Bras Frutic* 32, 143–150. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000023>
- Storchi, P., Costantini, E., Bucelli, P., 2005. The influence of climate and soil on viticultural and oenological parameters of Sangiovese grapevine under nonirrigated conditions. *Acta Horti* 689, 333–340.
- van Leeuwen, C., 2010. Terroir: the effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes, in: *Managing Wine Quality*. Elsevier, pp.273–315. <https://doi.org/10.1533/9781845699284.3.273>
- van Leeuwen, C., Friant, P., Choné, X., Tregoat, O., Koundouras, S., Dubourdieu, D., 2004. Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir. *Am J Enol Vitic* 55, 207–217. <https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.3.207>

MISURE DIRETTE E INDIRETTE DEL DANNO DA GELO IN CONDIZIONI CONTROLLATE: VALUTAZIONE DEL GRADO DI TOLLERANZA ALLE GELATE TARDIVE DI DIVERSE ACCESSIONI DI PESCO

TREAT, LEAK, FREEZE, REPEAT: *A RELIABLE METHOD TO UNRAVEL COLD HARDINESS IN PEACH FOR REDUCING THE ODDS OF LATE FROST YIELD LOSS*

Elisa Calastri¹, Nathalia Zaracho², Kaouther Boutiti³, Gloria Ghezzi¹, Irina Baccichet¹ and Marco Cirilli^{1*}

¹ Department of Agricultural and Environmental Sciences, University of Milan, 20133 Milan, Italy

² Centre for Research in Agricultural Genomics (CRAG) CSIC-IRTA-UAB-UB, Campus UAB, Edifici CRAG, Cerdanyola del Vallès (Bellaterra), 08193 Barcelona, Spain

³ Laboratoire de Génétique Biochimie et Biotechnologies Végétales, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Frères Mentouri Constantine 1, Constantine, Algeria

*marco.cirilli@unimi.it

Abstract

Late frosts are nowadays one of the most harmful issues threatening peach fruit production through the Mediterranean areas. During the past ten years radiative late frosts, when night temperatures drop to -4°C , have been recurrent events in many stone fruits growing areas, characterized by temperate climates where warm spring temperatures may catalyse flower budbreak, causing severe injuries even to developing fruitlets and extremely resulting in the entire crop loss. Even if many horticultural techniques are available for preventing freezing temperatures from causing irreversible damages to the fruiting structures, they're often technically non feasible in an economically sustainable tree cropping system. Therefore, breeding, selection and release of cold-hardy commercial peach cultivars could be a good way forward to make frost tolerance a preferred asset for the next future orchards. Given the fact that on field characterization of frost tolerance have been facing many obstacles, we aimed to develop a reliable method for massively screening a big number of peach accessions for their cold hardiness under controlled conditions.

Parole chiave

Gelate tardive, tolleranza al gelo, pesco, colture arboree, frutticoltura, PeachRefPop

Keywords

Late frosts, frost tolerance, peach, tree crops, fruit breeding, PeachRefPop

Introduction

At these days late frosts are the most harmful hazard threatening peach fruit production through the Mediterranean areas. As one of the earliest flowering fruit trees, peach is constitutively subjected to yield losses caused by freezing temperatures at blooming time, however higher and higher winter average temperatures recorded in recent years, because of the ongoing climate change, may lead to anticipated budbreak, increasing the magnitude of these phenomena. Emilia Romagna region, hosting the Italian leading area for horticultural production, is historically characterized by recurrent advection winter frosts (Rossi et al. 2002) when flower buds are hardier as they're fully dormant (Miranda et al. 2005). However serious concern is rising among stone-fruit producers as, during the last years, spring radiative freezing events occurred more frequently, exposing fruitlets at advanced developmental stages (three to four weeks AFB) to devastating freeze injury risks, when they're more frost-tender. Even if many freeze protection techniques (i.e., fans, covers, lights, above canopy sprinkler irrigation, etc.) are available yet, they're still too expensive and often technically non feasible in an economically sustainable tree cropping system. Since alternative and result-oriented solutions urges, researchers are now focusing on the one hand, on improving forecasting and modelling tools for more accurate prediction of frost events (Guillén-

Navarro et al. 2021; Yang et al. 2021); on the other hand, they're pushing the selection of new cultivars with tolerance to spring frost as a general priority of breeding programmes. To date, on field characterization of frost tolerance have been facing many troubles as it is very difficult to discriminate the genotype and the environmental contribution to freeze injury susceptibility. Natural freezing events, occurring in representative peach growing areas are anyway characterized by micro-meteorological features (Rossi et al. 2002) that cannot be easily controlled as a source of variance, even if complex experimental designs are used. Laboratory based freeze assays have been recently adopted for the experimental determination of critical freezing temperatures for different *Prunus* species (Kaya et al. 2018; Kaya and Kose 2019; Kose and Kaya 2022), moreover they offer the opportunity to compare different cultivars at the same phenological stage, something not possible in open field conditions (Miranda et al. 2005; Reig et al. 2013). Nonetheless, rapid and reliable measurement methods are needed for the determination of frost tolerance level of different tissues (Kaya et al. 2018) as the detection of cellular injury produced by extra-cellular ice formation could be tricky, as it results in highly diverse morphological manifestations (Rodrigo 2000). Here we propose a preliminary set up of a screening procedure suitable for processive screening of plenty of accession under selection

for their frost-hardiness. The methodology is mainly based on artificial frost treatment (AFT) followed by visual examination (VE) of frost symptoms and by indirect estimation of the level of integrity of the cellular membrane by phenolic compound leakage (PCL) sage. The latter measurement has been previously adopted as an indicator of freeze damage by Chalker-Scott et al. (1989), more recently by Viti et al. (2010) and for determining salt and osmotic injury level by Redmann et al. (1986) and Picchioni et al. (1991). Trials have been carried out using fruiting structures at two different phenological stages, which have been identified as the most exposed to frost risk by accurate examination of the most recent climatic data available for the area of interest.

Materials and methods

Plant material

About 160 accessions belonging to the multisite peach reference collection (PeachRefPop) (Cirilli et al. 2020) located at the experimental field in Imola, Emilia-Romagna region, Italy (IT), were used for the experiments.

Late frost recurrency in the field study area

Frost events occurrence from February to April during the three years period 2020-2022 in the field study area, has been studied by analysing air temperatures recorded every 10 min by a datalogger (Elitech) positioned at 1 m AGL in the experimental field (Fig.1).

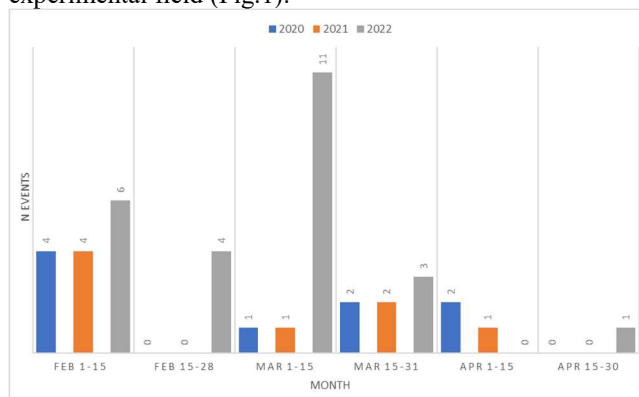


Fig.1 – Spring frost recurrency and distribution in Imola.
Fig.1 – Ricorrenza delle gelate tardive a Imola.

Artificial frost treatment

A programmable climatic chamber equipped with a heat-cold unit, working over the range of -10 to 40°C, able to simulate the humidity and temperature profile of a real late frost was used to perform artificial frost treatment (AFT) on shoots with flowers at FB and fruitlets at 3 weeks AFB (Reig et al. 2013) (Fig.2).

The running procedure of the chamber have been set to gradually decline T°C until the frost temperature of -4°C was reached (Miranda et al. 2005) (Tab.1).

This temperature was chosen because it is the most recurrent critical temperature occurring during spring time in Imola (BO) where the experimental field is located (Viti et al. 2010).

The trial was based on the methodology reported by Viti et al. (2010) and involved the use of one-year shoots with

flowers in phenological stage F (Baggiolini, 1980). To compare genotypes at the same phenological stage, three main flowering groups were identified through the accessions under study and sampling performed when at least 50% of the total flower buds of the corresponding tree reached the F stage (Reig et al. 2013).

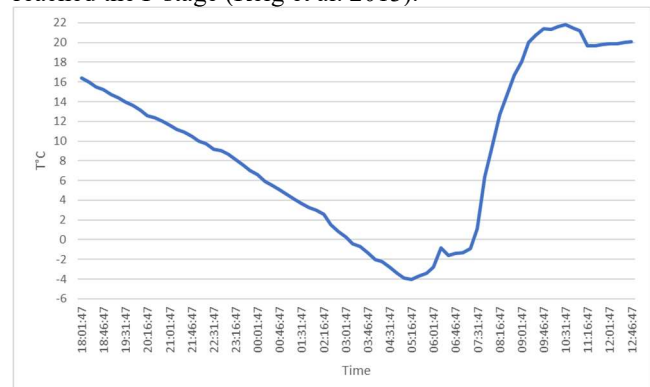


Fig.2 – Temperature profile of the artificial frost treatment.
Fig.2 – Profilo termico del trattamento di simulazione

Tab.1 – Chamber T°C cycle for the simulation of late frost.

Tab.1 – Ciclo termico di simulazione della gelata tardiva.

Cycle frost h	Δt min	From °C	To °C	ΔT°C
18.00	360 min	18	8	10
00.00	360 min	8	-6	12
6.00	360 min	-6	6	20
12.00	360 min	6	18	12
	∞	18	18	0

Frost sensitivity determination by the Phenolic Compound Leakage test (PCL)

Nine shoots carrying flower buds at the proper stage were pruned, starting from the first accession blooming during the first decade of March 2023, and put in plastic pots with 5% sucrose solution. Three shoots were kept in natural condition at RT 18°C 10-14 natural photoperiod, serving as control. Six shoots were threatened by AFT. When temperature had risen to RT, flower buds from treated shoots and control shoots were collected, placed into 50 ml DDW and incubated for 24 h in a shaker under continuous light (Chalker-Scott et al. 1989). First PCL determination (PCL1) was carried out measuring absorbance at 260 nm using a UV-Vis spectrophotometer on a 3 ml aliquot of the suspension. Samples were then kept at -20°C for 12 h to destroy the integrity of the cellular membrane; after thawing, they were shaken for additional 6 hours (Picchioni et al. 1991) and second PCL (PCL2) determination was run.

Visual examination of frost symptoms (VE)

After the AFT completed, three treated shoots and one control shoots were kept at RT 18°C, natural lightning for 48h before visual examination (VE). When flower structures are damaged by frost or freezing temperatures, injured tissues of the style and ovary will become brownish and necrotic with time through formation of phenolic compounds in response to injury (Larsen, 2010). The identification of those symptoms on AFT treated flowers at the same phenological stage, allows ranking of genotype tolerance to frost damage as the hardiest cultivars will have lower

proportion of darkened flower structures (Reig et al. 2013). The flowers were then detached from the shoots, placed for dissection on filter paper, longitudinally dissected using a surgeon scalpel and, when needed, observed on a stereo microscope (Miranda et al. 2005) (Fig.3). At least 10 flowers per replicate were dissected and frost damaged (FLD) flowers were counted, they were considered damaged when any tissue in them was brownish, most of the times it was the pistil.

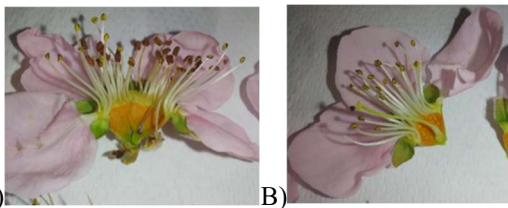


Fig.3 – Longitudinal dissection of A)Treated and B)Control flowers at F stage (Baggiolini, 1980)

Fig.3 – Sezione longitudinale di fiore allo stadio F A)Trattato e, B)Controllo

Once bloom is completed and the young fruitlets were present at the phenological stage H (Baggiolini, 1980), the same procedure was adopted to test their frost hardiness. 3 weeks AFB shoots have been collected and treated as previously described for full bloom flowers. Frost damages evaluation have been performed after 7 days incubation at RT 18°C and natural lightning following AFT, as discoloration due to the oxidation of phenolic compounds released by the injury intensifies within injured tissues with time (Larsen, 2010). At least 10 fruitlets have been examined for two shoots serving as replicates, one non-treated shoot's fruitlets have been examined serving as control. Fruitlets have been observed integer for any symptoms on the epicarp and subsequently longitudinally cut using a surgeon scalpel and examined for any brownish or necrosis of the mesocarp, endocarp and embryo.

Data analysis

Relative leakage ratio (RLR%) was calculated as the fraction of the first absorbance measurement PCL1 following AFT, to that from the second measurement after freeze-killing the tissue PCL2 and expressed as percentage (Picchioni et al. 1991). Kruskal-Wallis test ($p \leq 0,05$) was used to compare data from frost treated samples (AFT) and untreated controls (Control). Univariate analysis of variance (UNIANOVA, GLM procedure IBM, SPSS) was used to test the main effect of treatments and genotypes on RLR%. When significant differences were found ($p \leq 0,05$) EMMEANS were calculated and mean separation was performed using the LSD test, Bonferroni corrected at the $p \leq 0,05$ level of significance, using the Agricolae package of R Studio.

The injury level due to the treatment was calculated as the ratio of frost damaged flowers observed to the total visually examined (VE) flowers (FLD%) (Miranda et al. 2005). Kruskal-Wallis test for independent samples at the $p \leq 0,05$ level of significance was used to verify any distribution differences between treated and control samples, and Wilcoxon signed rank test at the (2-sided, $p \leq 0,05$), to compare the median of differences of FLD% between

replicates and control. FLD% percentage were converted to angle values by Arcsin transformation (Viti et al. 2010) and UNIANOVA run as previously described.

Degree of frost damage inflicted by AFT at 3 weeks AFB was expressed as the percentage of injured to the total number of excised fruitlets (FTD%). Dunnet's t 2-sided post-hoc test was used to compare differences between EMMEANS of FTD% across categories of treatment. Spearman's nonparametric correlation test was run to test any relationship (2-tailed, $p \leq 0,05$) between RLR and FLD and between FLD and FTD variables' means.

Results and Discussion

Degree of frost tolerance according to the PCL test

Kruskal-Wallis test showed significant differences between the distribution of RLR% across categories of treatment. RLR% measured on the control samples (Control) is significantly different (2-sided test, $p < 0,001$) from that of the treated samples. No significant differences were found between replicates of treated samples (AFTA and AFTB) (Fig.4).

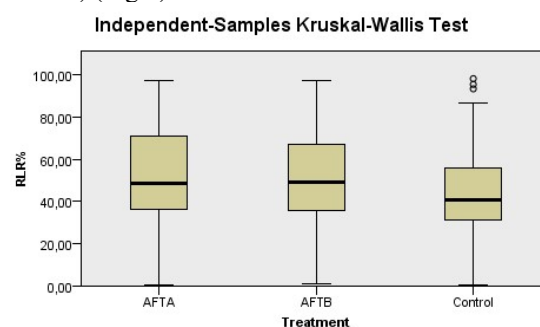


Fig.4 – Distribution of RLR% across categories of treatment.

Fig.4 – Distribuzione di RLR% entro trattamento.

UNIANOVA indicated as main source of RLR% variance the treatment ($p=0,001$) and the genotype ($p=0,007$), no significant interactions between treatment and genotype were found ($p=0,820$).

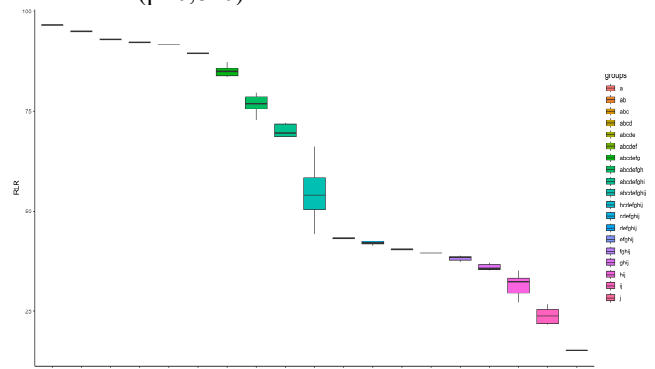


Fig.5 – Genotype groups on the RLR% means separation by LSD test, Bonferroni corrected ($p \leq 0,05$). Distribution of means per group are displayed.

Fig.5 – Gruppi di genotipi individuate dalla separazione delle medie di RLR% dal test LSD, corretto Bonferroni ($p \leq 0,05$).

No significant differences of RLR% were evident when control samples were tested ($p=0,103$). Strongly significant ($p<0,001$) differences between treated samples were found across genotypes. Given the fact that PCL measures the loss of the cellular membrane integrity and indirectly the degree of tissue damage (Viti et al. 2010) the rate of tolerance level was scored on the basis of ranks identified by the post-hoc test (Fig. 5).

RLR calculated as the fraction of PCL1 to PCL2 on treated flowers (F stage), ranged from 15,435% for Percoco di Turi to 96,45% for Reine des Verges, this two genotypes resulted respectively to be the most tolerant and the most sensitive to the simulated frost damage, according to the PCL determination. Statistically significant differences between RLR means allowed to discriminate genotypes in relation to their degree of frost tolerance (Fig.6).

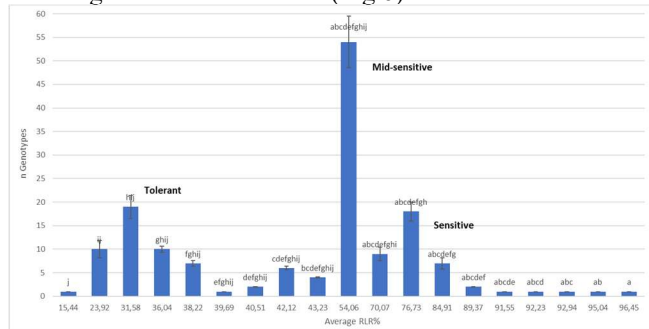


Fig.6 – Number of genotypes grouped on the basis of their frost tolerance determined by PCL. Average RLR% for each group are displayed.

Fig.6 – Numero di genotipi raggruppati in funzione della tolleranza al gelo determinata per PCL.

Most genotypes had rates between 44,36% and 66,17% and were then classified as mid-sensitive. A relevant number of the screened genotypes got an average RLR of 31,58% (SD 2,42) and were then identified as tolerant, another consistent group got average RLR of 76,73 (SD 2) and were recognised as sensitive. Extreme PCL rates were found, in the case of the lowest value only for one very tolerant genotype, while different very sensitive genotypes were skewed to the highest degree of frost damage.

Frost damage evaluation by visual examination

Kruskal-Wallis test showed significant differences between the distribution of FLD across categories of treatments.

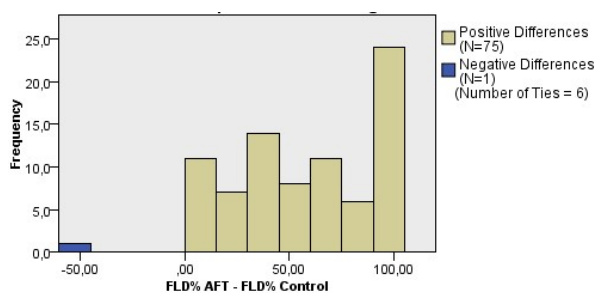


Fig.7 – Wilcoxon signed rank test 2-sided, tests the H_0 that the median of differences between FLD% of Control and AFT samples equals 0.

Fig.7 – Individuazione delle differenze di FLD% tra campioni trattati e di controllo con il test di Wilcoxon.

Wilcoxon signed rank test (Fig.7), revealed that the median of differences of FLD% rated at the VE on treated samples replicates is zero (2-sided test $p=0,627$); while it shows significant positive differences (2-sided test $p=0,001$) in the median of differences between FLD% rated for treated samples (FLD AFT%) and control samples (FLD% Control). UNIANOVA, LSD pairwise comparisons on ArcsinFLD, confirmed significant differences between means for treated and untreated samples $p=0,001$ and no significant differences between replicates $p=0,897$. The treatment and the genotype were recognised as the main source of variance for arcsinFLD (Fig.8). UNIANOVA highlighted significant differences ($p<0,001$) between arcsinFLD means across genotypes both in the treated and control samples. As significant differences between means of FLD% across categories of genotype were found, EMMEANS were calculated and means separation performed according to LSD pairwise comparison, Bonferroni corrected. Genotypes were grouped based on LSD rankings (Fig.8).

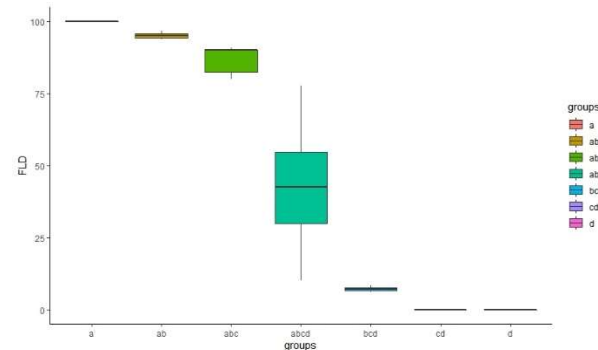


Fig.8 – LSD, Bonferroni corrected, means separation ($p\leq0,05$). Distribution of FLD% means within groups of Genotypes.

Fig.8 – Separazione delle medie per LSD, corretto Bonferroni ($p\leq0,05$). Distribuzione delle medie FLD% entro gruppi di genotipi.

The major group identified had rates between 41,99% and 77,78% FLD, providing an outlook to the broad range of mid-sensitive genotypes. About 22% of the screened accession resulted to be totally affected by the AFT showing the maximum degree of frost damage and were identified as sensitive: brownish and necrotic pistils and developing ovaries were observed in all the flowers examined, they're the most frost-tender organs in the flower before fertilization indeed (Miranda et al. 2005). A comparable number of genotypes were completely tolerant to the frost treatment as any floral anomalies or frost symptoms were evident (Fig.9). No significant correlations were found between RLR and FLD means at the Spearman's test $rS=0,133$, $p=0,101$, 2-tailed. As pairwise comparisons (LSD, $p\leq0,05$) between EMMEANS of FTD% showed significant differences between treated and control fruitlets but no significant differences between replicates, Dunnett t 2-sided post-hoc test confirmed that FTD% means were significantly lower ($p=0,0001$) for control than for treated samples.

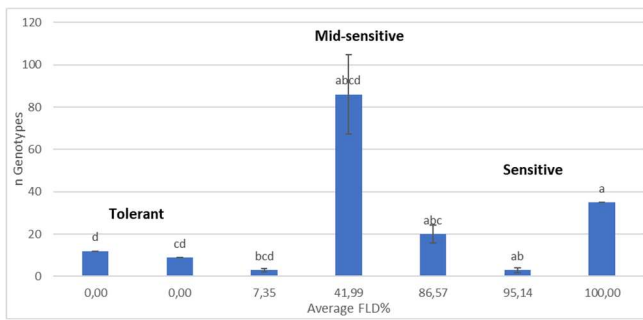


Fig.9 – Number of genotypes grouped on the basis of their frost tolerance determined by VE. Average FLD% for each group are displayed.

Fig.9 – Raggruppamento dei genotipi in funzione della tolleranza al gelo del fiore determinata per VE.

UNIANOVA $p < 0,001$ highlighted significant differences of FTD% means between genotypes, within categories of treatment. LSD, Bonferroni corrected post-hoc test ($p \leq 0,05$) grouped genotypes relating to their fruitlets frost hardiness (Fig. 10).

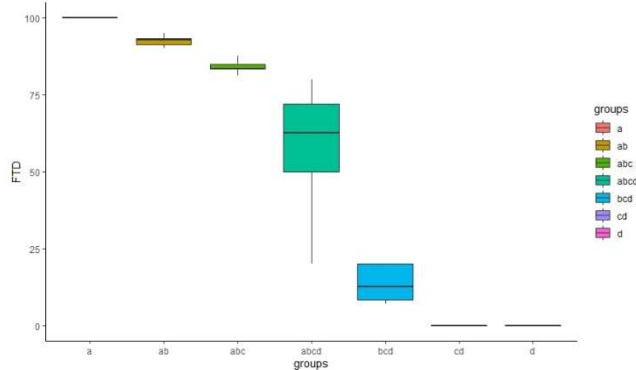


Fig.10 – LSD, Bonferroni corrected, means FTD% separation ($p \leq 0,05$)

Fig.10 – Separazione delle medie FTD% per LSD, corretto Bonferroni ($p \leq 0,05$)

Even if genotypes were discriminated by a comparable FLD and FTD ranking (Fig. 11), Spearman's correlation ($r_s = 0,008$, 2-tailed) didn't show any significant correlation between FLD and FTD means.

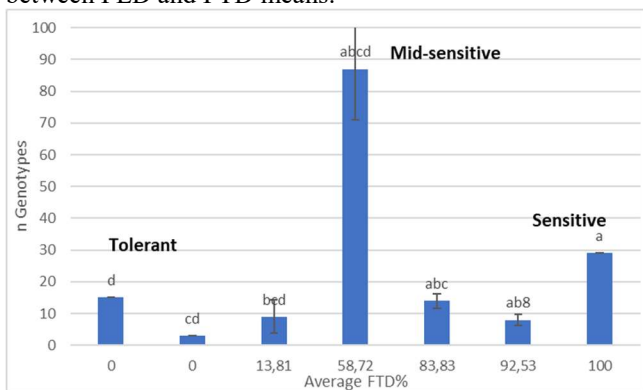


Fig.11 – Number of genotypes grouped on the basis of their frost tolerance determined by VE. Average FTD% for each group are displayed.

Fig.11 – Raggruppamento dei genotipi in funzione della tolleranza al gelo del frutticino, determinata per VE.

Conclusions

AFT performed under controlled conditions allowed to test and compare plenty of peach genotypes for their frost hardiness at the same, most critical, phenological stages. PCL determination could be a valid approach to finely score the injury rate of frost-threatened tissues, however it is now needed to assess the sensitivity, accuracy, and reproducibility of this methodology in relation to VE. VE of frost symptoms revealed that there's no relationship between frost tenderness in flowers and fruitlets within the same accession, suggesting that different physiological mechanisms may underlie frost tolerance of reproductive structures during their development.

References

- Baggiolini, M. (1980). Stades repères du cerisier-Stades repères du prunier. Stades repères de l'abricotier. Stades repères du pêcher. Guide Pratique de Défense des Cultures.
- Chalker-Scott, L., et al. 1989. Spectrophotometric Measurement of Leached Phenolic Compounds as an Indicator of Freeze Damage. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 114:315–319.
- Cirilli, M., et al. 2020. The multisite PeachRefPop collection: A true cultural heritage and international scientific tool for fruit trees. *Plant Physiol.* 184:632–646.
- Guillén-Navarro, et al. 2021. A high-performance IoT solution to reduce frost damages in stone fruits. *Concurr. Comput. Pract. Exp.* 33.
- Kaya, O., et al. 2018. An exothermic process involved in the late spring frost injury to flower buds of some apricot cultivars (*Prunus armeniaca* L.). *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 241:322–328.
- Kaya, O., and Kose, C. 2019. Cell death point in flower organs of some apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars at subzero temperatures. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 249:299–305
- Kose, C., and Kaya, O. 2022. Differential thermal analysis reveals the sensitivity of sweet cherry flower organs to low temperatures. *Int. J. Biometeorol.*
- Larsen, H. 2010. Evaluating Tree Fruit Bud and Fruit Damage from Cold. *Color. State Univ.*
- Miranda, C., et al. 2005. Variability in the relationship between frost temperature and injury level for some cultivated *Prunus* species. *HortScience*. 40:357–361.
- Picchioni, G. A., et al. 1991. Rapid Testing of Salinity Effects on Pistachio Seedling Rootstock. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116:555–559.
- Redmann, R. E., et al. 1986. Leakage of UV-absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody species. *Physiol. Plant.* 67:87–91.
- Reig, G., et al. 2013. How does simulated frost treatment affect peach [*Prunus persica* (L.)] flowers of different cultivars from worldwide breeding programmes? *Sci. Hortic.* 160:70–77.
- Rodrigo, J. 2000. Spring frosts in deciduous fruit trees. Morphological damage and flower hardiness. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 85:155–173.
- Rossi, F., et al. 2002. Meteorological and micrometeorological applications to frost monitoring in northern Italy orchards. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C.* 27:1077–1089.
- Viti, R., Bartolini, S., and Andreini, L. 2010. Flower bud frost tolerance of several Italian apricot genotypes. *Eur. J. Hortic. Sci.* 75:185–192.
- Yang, J., Huo, Z., Wang, P., Wu, D., Ma, Y., Yao, S., et al. 2021. Process-based indicators for timely identification of apricot frost disaster on the warm temperate zone, China. *Theor. Appl. Climatol.*

METEO-CLIMA E ATTIVITÀ FOTOSINTETICA: UNO STUDIO ESPLORATIVO PER IL MONITORAGGIO DELLA VULNERABILITÀ CLIMATICA

WEATHER-CLIMATE AND PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY: AN EXPLORATORY STUDY FOR THE MONITORING OF CLIMATE VULNERABILITY

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

¹ Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale (IMAA-CNR) c.da S. Loja - 85050 Tito Scalo (PZ)

² Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura (ALSIA) Via Annunziatella 64 - 75100 MATERA

*maria.lanfredi@imaa.cnr.it

Abstract

The effectiveness of the response to climate change at regional and local scale crucially depends on the level of preparedness and on the ability to define potential effects and territorial priorities. This study uses weather-climate data and a satellite vegetation index (NDVI) to detect areas vulnerable to climate change. The analysis concerns the Metaponto plain (Basilicata) in the 2019-2020 phenological year. We focus on arable lands, the dominant agricultural class in the plain that is highly exposed to erosion and leaching after harvesting. Areas characterised by low NDVI values are mostly identified in sub-humid and semi-arid zones, with a biomass production lower than 50% of the averages of the arable lands in the plain and the presence of bare soil in summer when temperature values are very high. This analysis can be repeated within a proactive monitoring strategy to optimize the response to climate change at different spatial scales.

Parole chiave

Vulnerabilità climatica, land degradation, Italia mediterranea, Copernicus Coastal Zones

Keywords

Climatic vulnerability, land degradation, mediterranean Italy, Copernicus Coastal Zones

Introduzione

L'efficacia della risposta ai cambiamenti climatici a scala regionale e locale dipende in maniera cruciale dal livello di preparazione e dalla capacità di definire effetti potenziali e priorità territoriali. Attualmente, esiste una vasta letteratura scientifica che prevede un riscaldamento diffuso ed una riduzione delle precipitazioni sulla maggior parte delle aree del Mediterraneo con un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi (Lionello and Scarascia, 2018). In una visione proattiva della gestione del rischio climatico in aree agricole, diventa fondamentale pertanto mettere a punto strategie efficaci per valutare la propensione delle aree esposte ad essere influenzate negativamente dai cambiamenti (vulnerabilità, vedi Pachauri et al., 2014). Il problema è estremamente complesso e coinvolge anche considerazioni di tipo socio-economico, ma le dinamiche vegetazione-clima sono ovviamente quelle fondamentali su cui si innestano tutte le altre. Soprattutto in uno scenario di cambiamenti climatici veloci, la messa a punto di adeguate strategie di monitoraggio dei parametri rilevanti in tali dinamiche è indispensabile per poter comprendere i processi in atto prima che questi diventino irreversibili, come il degrado dei suoli.

Oltre alla radiazione solare, i principali fattori abiotici che influenzano i tassi di fotosintesi e la produzione di biomassa sono l'acqua, la temperatura, la concentrazione di anidride carbonica e i nutrienti.

A livello globale, esiste una generale relazione di equilibrio tra quantità di biomassa prodotta per unità di area e tempo

(NPP, Net Primary Productivity), temperatura e precipitazioni. Le condizioni di equilibrio sono fortemente influenzate dalla limitazione dei nutrienti e, pertanto, la stima della NPP è importante per comprendere le dinamiche della vegetazione.

Il telerilevamento fornisce strumenti economicamente convenienti ed efficienti per la stima della NPP, dalla scala di sito alla scala regionale o globale (Zheng *et al.*, 2020). In particolare, il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) è ampiamente utilizzato come variabile proxy dell'attività fotosintetica e della NPP (Rouse *et al.*, 1974, Herrmann *et al.*, 2005). Valori bassi di NDVI rispetto alla media di una determinata copertura vegetale si associano a vegetazione stressata e/o sparsa. Tali aree sono particolarmente esposte all'impatto negativo di eventuali cambiamenti climatici, sia in termini di valori medi che di intensità e frequenza di eventi meteorologici estremi. In entrambi i casi, l'azione protettiva della vegetazione è ridotta ed i suoli sono direttamente esposti a processi di erosione e di lisciviazione. Nell'ambito di una politica agricola sostenibile, la riduzione dell'erosione del suolo è una priorità, visti gli effetti negativi sui terreni coltivati, sulla qualità dell'acqua e sulla produzione di sedimenti il cui trasporto può causare molti problemi anche a distanza. Soprattutto, l'eventuale innesco di fenomeni di land degradation può causare effetti irreversibili e costituisce, pertanto, un pericolo diretto.

Questo studio verte sull'utilizzo congiunto di dati meteorologici ed NDVI calcolato da satellite per il monitoraggio

della vulnerabilità al cambiamento climatico. Le analisi esplorative qui illustrate riguardano la Piana di Metaponto (Basilicata), da tempo considerato un distretto di notevole importanza in ambito agroalimentare a livello nazionale (Margiotta et al., 2015). L'analisi svolta riguarda l'anno fenologico 2019-2020 inquadrato nel contesto del ventennio 2000-2020. In questa fase iniziale, essa è stata focalizzata sull'individuazione di zone classificate come seminativi secondo il dataset europeo Copernicus Coastal Zones 2018 e caratterizzate da valori di NDVI bassi rispetto alla statistica dell'area in tutte le stagioni. La scelta di cominciare dai seminativi è dovuta al fatto che questi rappresentano la classe agricola dominante nella Piana Metapontina e sono tra le coperture vegetali maggiormente esposte all'erosione perché alte percentuali di suolo rimangono verosimilmente nude nel periodo successivo alla mietitura. Le aree critiche che si intendono identificare sono quelle che già mostrano attività fotosintetica bassa nel periodo vegetativo e in cui i suoli rimangono prevalentemente scoperti dopo la raccolta. La classificazione di queste aree in base al grado di aridità del clima locale aggiunge un'informazione fondamentale sulla capacità potenziale delle terre di affrontare il periodo più caldo e siccitoso dell'anno.

Materiali e Metodi

Area di studio

L'area di studio è la Piana di Metaponto, un distretto agroalimentare di rilevanza nazionale, specializzato primariamente nella produzione ortofrutticola, dove insistono anche diverse attività di carattere turistico-ricreativo lungo i circa 40 km di costa ionica lucana (fig. 1).

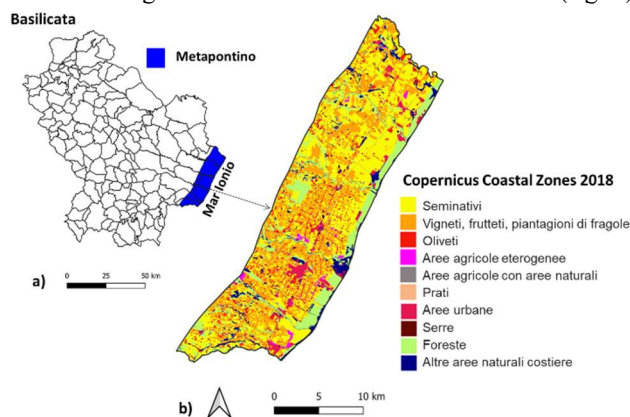


Fig.1 - Area del Metapontino – (a) Basilicata; (b) mappa della copertura vegetale secondo il prodotto Copernicus Coastal Zones 2018, aggregato in dieci classi.

Fig.1 – Metaponto plain – (a) Basilicata; (b) land cover map obtained by aggregating the Copernicus Coastal Zones 2018 into ten classes.

Si tratta di un'area che detiene anche un alto livello di pregio naturalistico in forza delle foreste naturali e delle afforestazioni di conifere, ubicate lungo la costa, che sono spesso sede di aree protette (siti Natura 2000, Imbrenda et al., 2022). I cambiamenti di uso/copertura del suolo avvenuti

nell'ultimo ventennio, soprattutto per via del crescente sfruttamento dell'industria balneare, la presenza di un clima che contempera anche vaste zone semiaride e i fenomeni di regressione della linea di costa, rendono quest'area vulnerabile alla land degradation (Imbrenda et al., 2018). Analisi recenti di dati meteorologici (Scalcione et al., 2020) hanno individuato espliciti segni di cambiamento climatico in atto.

Dati

Per questo lavoro sono stati utilizzati dati a terra per le misure di pioggia e temperatura e dati remoti per la stima dell'attività fotosintetica. La mappa di land cover utilizzata è anch'essa un prodotto dell'elaborazione di dati satellitari. In particolare, i parametri meteorologici provengono dalla rete di quarantacinque stazioni dell'ALSIA (Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura). L'intero dataset (2000-2020) è stato utilizzato per stimare l'indice di aridità a scala regionale; le sette stazioni che ricadono nell'area metapontina sono state utilizzate per ricostruire l'andamento di pioggia e temperatura nell'anno fenologico analizzato. Contestualmente, l'indice vegetazionale NDVI è stato stimato a partire dai satelliti Sentinel-2 appartenenti alla costellazione delle Sentinelle del Progetto europeo Copernicus realizzato dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea). Sono state acquisite dodici immagini mensili di NDVI Sentinel-2 Level-2A (una per ogni mese da Dicembre 2019 a Novembre 2020) (<https://scihub.copernicus.eu/>), scelte tra quelle prive di nuvole nelle aree di interesse.

Infine, la mappa di land cover utilizzata è il prodotto Copernicus Coastal Zones 2018 che fornisce per gli Stati europei EEA39 un dataset di uso/copertura del suolo con un livello di labelling elevato (71 classi tematiche distinte) per le aree che si trovano a partire dalla linea di costa fino a 10 km all'interno (<https://land.copernicus.eu/local/coastal-zones>). Per gli scopi del lavoro, le 71 classi sono state opportunamente riaggregate in 10 classi (fig. 1) e le mappe di NDVI sono state mediate in quattro mappe stagionali nei periodi Dicembre-Gennaio-Febbraio, Marzo-Aprile-Maggio, Giugno-Luglio-Agosto e Settembre-Ottobre-Novembre che descrivono il tasso di fotosintesi nel tempo (fig. 2).

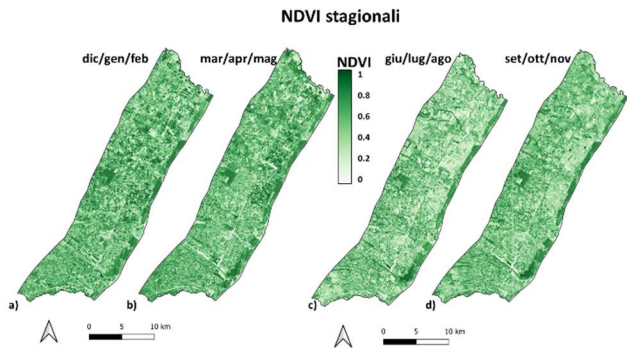


Fig.2 – Mappe dei valori medi stagionali di NDVI nel periodo dicembre 2019 – novembre 2020.

Fig.2 – Maps of seasonally averaged values of NDVI in the period December 2019 – November 2020.

Metodi

In questo studio esplorativo, l'indice scelto per sintetizzare il clima locale è l'Indice di Aridità (IA) come definito da De Martonne (De Martonne, 1926)

$$IA = Pa / (Ta + 10) \quad (1)$$

dove Pa è la pioggia annuale totale (in mm) e Ta è la temperatura media annuale (in gradi Celsius).

Sebbene sia uno dei più antichi indici di aridità/umidità, l'IA di De Martonne è correntemente utilizzato come indicatore numerico del grado di aridità del clima in una determinata località e permette una classificazione climatica in relazione alla disponibilità di acqua identificando efficacemente le condizioni secche/umide di diverse regioni (Coscarelli *et al.*, 2004).

Tale indice è stato stimato a partire dai dati 2000-2020 della rete meteorologica dell'ALSIA calcolando le medie annuali su tutto il periodo e quindi interpolando i valori per ottenere una mappa dell'indice alla risoluzione di 10m su tutta la regione. L'interpolazione è stata effettuata mediante regressione sull'altitudine e Kriging ordinario.

Per quel che riguarda l'andamento fenologico 2019-2020, lo studio si è basato sull'indice vegetazionale NDVI. Quest'ultimo, come proxy della vigoria vegetazionale e della densità di biomassa, si basa sul fatto che la vegetazione sana riflette più luce nel vicino infrarosso (NIR) e assorbe più luce nel canale del rosso (RED) rispetto ad altre lunghezze d'onda. L'NDVI viene calcolato utilizzando la seguente formula:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED}) \quad (2)$$

dove ρ_{NIR} e ρ_{RED} sono rispettivamente le riflettanze nelle lunghezze d'onda del NIR e del RED. Per ogni immagine acquisita, l'NDVI è stato calcolato utilizzando le bande 8 (canale del vicino infrarosso) e 4 (canale rosso) aventi una risoluzione spaziale di 10 m.

Le distribuzioni statistiche dei valori nelle differenti stagioni sono state quindi analizzate mediante boxplot e sono state

individuate tutte le aree caratterizzate da valori di NDVI minori del 25-esimo percentile. Le aree così mappate sono state infine inquadrare nelle zone climatiche definite dall'IA e le relative curve annuali dei valori medi di NDVI sono state messe in corrispondenza con le corrispondenti curve di temperatura e precipitazione.

Risultati e Discussione

La Piana di Metaponto ricade in pieno nell'Italia Mediterranea in cui i periodi più siccitosi sono contestuali con i periodi più caldi dell'anno (Lanfredi *et al.* 2020). Il cambiamento climatico potrebbe rendere più aride queste zone facendo aumentare anche la vulnerabilità alla desertificazione. I valori stimati dell'indice di De Martonne individuano quattro climi (fig.3) in cui il grado di aridità aumenta procedendo da sud-ovest verso nord est.

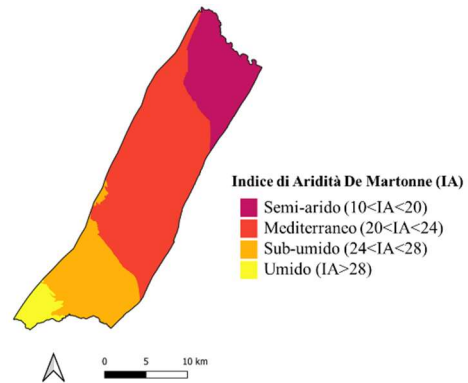


Fig.3 – Mappa dei valori stimati dell'Indice di Aridità di De Martonne.

Fig.3 – Map of the estimated Aridity index values (De Martonne)

L'analisi dei valori di NDVI è stata focalizzata sull'identificazione delle aree caratterizzate da valori bassi rispetto alla statistica della classe dei seminativi. Valori bassi delle distribuzioni (minori del 25-simo percentile) indicano bassi tassi di attività fotosintetica che in estate diventano tipici del suolo nudo (fig. 4a). Le aree che permangono in questa regione durante tutto l'anno, definite aree critiche (fig 4b), mostrano bassa produttività e suolo particolarmente esposto in estate.

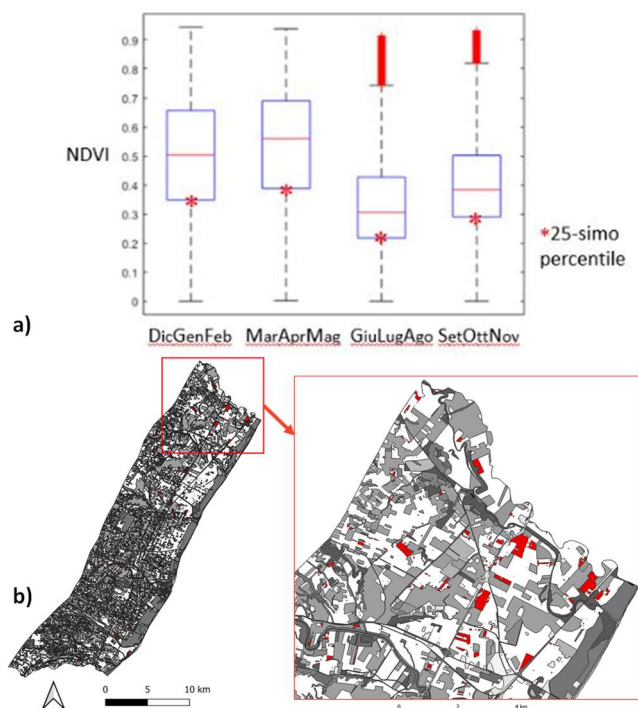


Fig.4 - (a) Boxplot dei valori dell'NDVI per le 4 stagioni con il valore del 25-simo percentile evidenziato; (b) seminativi critici dell'area di studio (in rosso) e zoom su quelli ricadenti nella zona semi-arida.

Fig.4 - (a) Boxplot of the NDVI values for the 4 seasons the value of the 25th percentile highlighted; (b) Critical arable lands of the study area (in red) and zoom on those falling within the semi-arid zone.

La produzione annuale per unità di area nelle zone critiche, stimata come integrale dell'NDVI su tutte le stagioni, non raggiunge il 50% della produzione stimata per i seminativi in generale.

La Tab. 1 mostra la distribuzione delle aree critiche nei differenti climi locali. Nei climi sub-umido, mediterraneo e semi arido, la percentuale di seminativi critici è intorno al 5% e si dimezza quando si passa al clima umido suggerendo l'esistenza di un legame diretto tra criticità e clima.

Tab.1 – Seminativi critici dell'area del Metapontino suddivisi per zona climatica (Indice di Aridità di De Martonne).

Tab.1 – Critical arable lands of the Metapantum plain splitted in different climate zones (De Martonne Aridity Index).

Zona climatica De Martonne	Seminativi critici (ha)	Area totale seminativi per zona climatica (ha)	Aree critiche sul totale della classe climatica (%)
semiarida	201,85	3755,34	5,38
mediterranea	402,06	8694,15	4,62
semiumida	162,01	2843,54	5,70
umida	13,76	996,46	1,38

L'analisi delle piogge e delle temperature massime registrate durante il 2020 nelle stazioni dell'ALSIA presenti in queste zone mostra un inverno caldo e siccitoso con piogge più abbondanti in primavera (fig. 5). In estate picchi di temperatura massima fino a 40 gradi e, se si esclude il mese di luglio, periodi poco piovosi, sono in sostanziale accordo con quanto previsto dal contesto climatico.

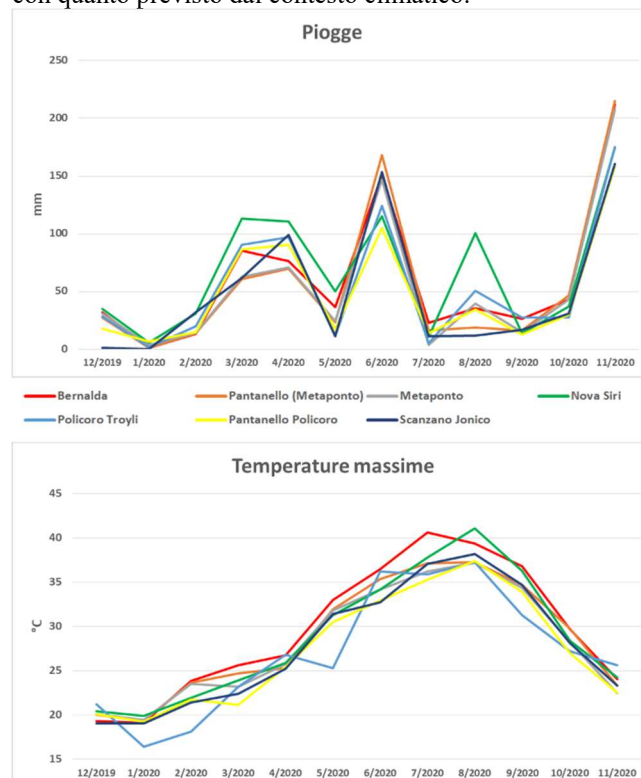


Fig.5 – Grafici degli andamenti di pioggia e dei valori di temperatura massima registrati dalle sette stazioni dell'ALSIA ricadenti nell'area di studio.

Fig.5 – Plots of rainfall and maximum temperature values recorded by the seven ALSIA stations falling in the study area.

Conclusioni

L'identificazione di aree caratterizzate da valori bassi di NDVI rispetto alla statistica della classe dei seminativi ha permesso di mettere in evidenza zone critiche in climi sub-umidi e semiaridi in cui la produttività è bassa ed il suolo non è appropriatamente protetto nel periodo estivo più caldo dell'anno. L'analisi effettuata rappresenta la fase esplorativa di uno studio utile per mettere a punto una strategia di monitoraggio della vulnerabilità climatica. Il prossimo passo sarà di ripetere l'analisi anche negli anni successivi al 2020. Le aree qui individuate che si confermassero critiche anche negli anni successivi saranno considerate vulnerabili e si procederà con uno studio più approfondito della meteorologia e all'integrazione di informazioni di supporto (ad esempio la pedologia) per meglio inquadrare il problema della vulnerabilità climatica nell'area.

Ringraziamenti

Questa ricerca è inserita nel progetto ODESSA (On Demand Services for Smart Agriculture), finanziato dall' European Regional Development Fund Operational Programme 2014-2020).

I dati meteorologici sono stati forniti da ALSIA (Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura) ed elaborati nell'ambito di una convenzione tra ALSIA ed IMAA-CNR.

Bibliografia

- Coscarelli, Gaudio, Caloiero, (2004). Climatic trends: An investigation for a Calabrian basin (southern Italy), the basis of civilization – water science IAHS Publication, 286, 255–266.
- De Martonne, (1926). Aerisme, et indices d'aridite. Comptesrendus de L'Academie des Sciences, 182, 1395–1398.
- Herrmann, Assaf, Compton, 2005. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change* 15, 394-404.
- Imbrenda, Coluzzi, Lanfredi, Loperte, Satriani, Simoniello, (2018). Analysis of landscape evolution in a vulnerable coastal area under natural and human pressure. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 1249-1279.
- Imbrenda, Lanfredi, Coluzzi, Simoniello, (2022). A Smart Procedure for Assessing the Health Status of Terrestrial Habitats in Protected Areas: The Case of the Natura 2000 Ecological Network in Basilicata (Southern Italy). *Remote Sensing*, 14(11), 2699.
- Pachauri, Allen, Barros, Broome, Cramer, Christ, ..., van Ypserle, (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 - IPCC (p. 151).
- Lanfredi, Coluzzi, Imbrenda, Macchiato, Simoniello, (2020). Analyzing space–time coherence in precipitation seasonality across different European climates. *Remote Sensing*, 12(1), 171.
- Margiotta, Manera, Sivoletta, Fabrizio, (2015). Evolution of the Metaponto District, Southern Italy: from land reform to new sustainable scenarios. *Landscape Research*, 40(2), 174-191.
- Rouse, Haas, Schell, Deering, (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ.* 351(1), 309.
- Scalcione, Dichio, Fabrizio, (2020), Cambiamenti climatici, aumenta la frequenza degli eventi estremi, *Agrifoglio* n.100.
- Zheng, Zhu, Zhang, (2020). Seasonally and spatially varied controls of climatic factors on net primary productivity in alpine grasslands on the Tibetan Plateau. *Glob. Ecol. Conserv.* 21, e00814.

INFLUENZA DELLO STRESS TERMICO SULLA FORMAZIONE DEI METABOLITI SECONDARI DELLE PIANTE MEDICINALI

INFLUENCE OF TEMPERATURE STRESS ON SECONDARY METABOLITE FORMATION BY MEDICINAL PLANTS

Laura D'Andrea^{1*}

¹ CREA– Centro di Ricerca Agricoltura e Ambiente, via Celso Ulpiani 5, 70125, Bari
*laura.dandrea@crea.gov.it

Abstract

Medicinal plants are known to be used by 60% to 80 % of global population. Plants being influenced by different kinds of stresses regulate the synthesis of secondary metabolites (SMs). Abiotic stresses, chiefly light, extreme temperature conditions, water stress, nutrients available, presence of heavy metals, and salt content in soil are known to extensively persuade the amount and composition of SMs produced by plants. High and low temperature cause drastic change in physiological and biochemical processes, including water deficit and oxidative stress leading to lipid peroxidation and membrane damage, degradation of chlorophyll and protein, and reduced water status of plants. This review summarizes experimental studies about influence of temperature stress on secondary metabolite formation by some medicinal plants (*Hypericum perforatum* L., *Stevia rebaudiana* Bert., *Matricaria chamomilla* L.).

Parole chiave

Stress termico, Piante medicinali, *Hypericum perforatum* L., *Stevia rebaudiana* Bert., *Matricaria chamomilla* L.

Keywords

Temperature stress, Medicinal plants, *Hypericum perforatum* L., *Stevia rebaudiana* Bert., *Matricaria chamomilla* L.

Introduction

Medicinal and aromatic plants are known to be used by 60% to 80 % of global population for their medicinal therapeutic effects as estimated by World Health Organization (WHO, 2013).

People around the world use between 50,000 to 80,000 flowering plants for medicinal purposes (Naguib, 2011).

Medicinal plants have an important value in the socio-cultural, spiritual and medicinal use in rural and tribal lives of the developing countries. Many of the herbs and spices used by humans to season food yield useful medicinal compounds (Tapsell *et al.*, 2006).

Many of these plants synthesize substances that are useful to the maintenance of health in humans. These include aromatic substances, most of which are phenols or their oxygen-substituted derivatives such as tannins. Others contain alkaloids, glycosides, saponins, and many secondary metabolites (SMs), of which at least 12,000 have been isolated, a number estimated to be less than 10% of the total.

The synthesis of secondary metabolites (SMs) is influenced by different kinds of stresses.

Abiotic stresses (Akula and Ravishankar, 2011), chiefly light, extreme temperature conditions, water stress, nutrients available, presence of heavy metals, and salt content in soil are known to extensively persuade the amount and composition of SMs produced by plants.

Temperature is one of the important physical factors, which strongly affects the ontology and developmental rate of plants (Mahajan *et al.*, 2020).

High temperature (heat stress) and low temperature (cold stress) cause changes in various physiological, biochemical and molecular processes (Punetha *et al.*, 2022).

- High temperature causes heat stress in the plants. It decreases the stomatal conductivity and consequently reduces photosynthesis and growth of the plants. At high temperature, photosystem II show decrease in photochemical efficiency causing increase in stress in the plants. (Verma and Shukla, 2015).
- Low temperature causes cold stress in the plants. It adversely affects the growth and development of plants and significantly constraints productivity. It prevents the expression of full genetic potential of plants that directly inhibit the metabolic reactions and indirectly water uptake and cellular dehydration (Verma and Shukla, 2015).

Temperature stress results in leaf senescence damages the membrane of cells, promotes chlorophyll degradation and results in protein degradation (Pradhan *et al.*, 2017).

Medicinal plants can also produce secondary metabolites (SMs) in response to high temperatures (Verma and Shukla, 2015). Though many studies have shown an increase in the production of SMs due to high temperatures (Naghiloo *et al.*, 2012), few studies have reported a decrease in the production of SMs (Shibata *et al.*, 1988).

It can therefore be said that the production of SMs is dependent on plants and their species.

There are several reports available on the effect of temperature stress on the content of SMs like phenolics and terpenoids (Mahajan *et al.*, 2020).

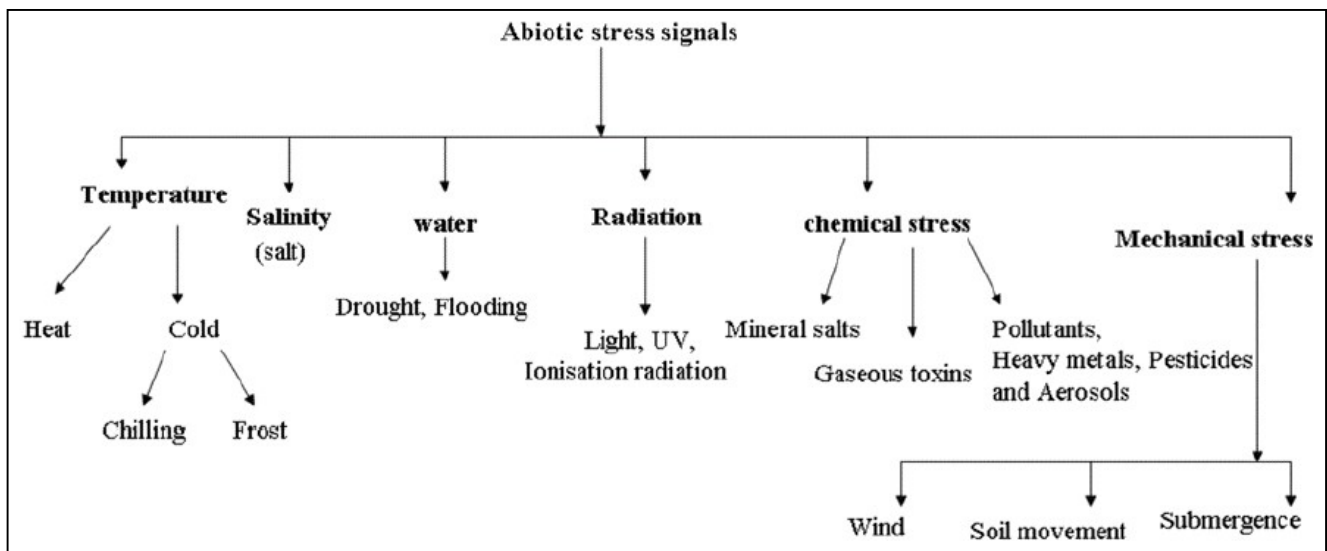


Fig.1 – Diversi stress abiotici colpiscono le piante (adattato da Akula e Ravishankar, 2011).
 Fig.1 – Several abiotic stress affect plants (adapted from Akula and Ravishankar, 2011).

Loreto and Schnitzler (2010) reported that terpenes are emitted at a higher amount from plants with an increase in temperature. These terpenes help in the stabilization of thylakoid membranes present in chloroplasts and have strong antioxidant activity.

This review summarizes experimental studies about temperature stress and its effects on plant growth and morphology and on the quantity and quality of essential oil of some medicinal plants.

Materials and Methods

The study was carried out on a review of international and national scientific publications to obtain much information about temperature stress. Different scientific database [Google Scholar platform, the Scopus scientific database, and the editorial portal (MPDI, Elsevier ecc.)] were used. From each publication, data and results regarding the influence of temperature stress on plant growth and morphology and on the quantity and quality of essential oil of some medicinal plants (*Hypericum perforatum* L., *Stevia rebaudiana* Bert., *Matricaria chamomilla* L.) were extrapolated.

Results and Discussion

St John's Wort (Hypericum perforatum L.)

St. John's Wort (Hypericum perforatum L.) is an herbaceous perennial plant belongs to *Hypericaceae* family. It is widely distributed in warm and temperate regions of Europe, Asia, North Africa, North America and Australia.

It is one of the most famous medicinal plants which proven health effects of major secondary metabolites and which market value is growing up (Butterweck *et al.*, 1998).

The current popularity of hypericum comes from recent clinical trials and reviews on its clinical efficacy and pharmacological potential (Nathan, 2001).

Hypericum is a popular antidepressant drug in many European countries.

Hypericum contains numerous compounds with biological activity, such as naphthodianthrones (0.05–0.15%) including hypericin and pseudohypericin, tannins and proanthocyanidins (6–15%), flavonoids (2–5%) and phloroglucinol derivatives (up to 5% hyperforin).

Other constituents found include phenolic acids, coumarins, monoterpenes, sesquiterpenes, sterols, xanthenes, vitamin C and A and volatile oils (Nathan, 2001).

A large volume of information on bioactive compounds reporting changes in respect to environment factors in *Hypericum* plants (Couceiro *et al.*, 2006; Çırak *et al.*, 2007).

Radusiene *et al.* (2012) studied the effect of temperature and light intensity on accumulation of bioactive secondary metabolites in *Hypericum perforatum* L.. The plants were grown in a greenhouse. Average temperature and light intensity throughout the growth period of experiment-1 were 32°C and 1618.6 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, while of experiment-2 were – 24°C and 803.4 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively.

The research revealed that high temperature and light intensity positively influence the accumulation of naphthodianthrones, acylphloroglucinol, hyperforin and phenolic compounds. Higher light intensity and temperature stimulate an increase of hypericins and the decrease of hyperforin content.

The results are in accordance with others literature data (Couceiro *et al.*, 2006; Çırak *et al.*, 2007; Zobayed *et al.*, 2005).

Stevia (Stevia rebaudiana Bert.)

Stevia (Stevia rebaudiana Bert.) is an ancient perennial shrub, a member among the 950 genera of the *Asteraceae* family and native to the Amambay region in the north-east

of Paraguay. This shrub also grows in neighbouring areas of Brazil and Argentina (Debnath, 2008).

It is considered as an alternate substitute for cane and beet sugar, it has a great potential as a new agricultural crop since consumer demand for herbal foods is increasing.

It synthesizes a high level of sweetening compounds, in the leaves, known as steviol glycosides (stevioside and rebaudioside), which are about 300 times sweeter than saccharose (Brandle *et al.*, 1998).

It offers a therapeutic property and possess antioxidant, antimicrobial and antifungal activity.

The optimum growth temperature of stevia is 23°C. Generally, low temperatures affect plant growth and development at early seedlings stage. Plants suffering from chilling stress may show various characteristics, such as changes in plant metabolism and altered secondary metabolite production, stunted growth, wilting, and reduced and deformed leaves (Allen and Ort, 2001).

Therefore, improving the tolerance of *Stevia rebaudiana* to chilling is important for its plantation in areas that experience low temperatures during winter.

Soufi *et al.* (2015) evaluated the damage and change in physiological behavior in stevia induced by chilling stress and pre-treatment with salicylic acid (SA), hydrogen peroxide (H₂O₂), calcium chloride (CaCl₂) and 6-benzylaminopurine (BAP) stevia seedlings.

The stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) plants were exposed to day night temperature (10/6°C) in a growth chamber for 120h was investigated.

The results showed that there was a positive physiological effect on growth and development of chilling-stressed seedlings by these compounds as shown by a higher dry weight and leaf mass area, electron transport rate (ETR) and quantum photosynthetic yield (Y). Both chlorophyll and carotenoid contents remain higher during exposure to low temperature in pretreated plants of *Stevia rebaudiana* in comparison with control plants.

This study suggested that these compounds may improve the chilling tolerance of stevia.

Chamomile (Matricaria chamomilla L.)

Chamomile (*Matricaria chamomilla* L. syn. *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert.) is a well-known medicinal plant species from the Asteraceae family. It has been used in herbal remedies for thousands of years, known in ancient Egypt, Greece and Rome (Singh *et al.*, 2011).

The flowers are the main organs of the production of essential oil.

It is mainly consisting of sesquiterpene derivatives (75–90%) but only traces of monoterpenes. The oil contains up to 20% polyynes.

The principal components of the essential oil extracted from the flowers are (E)- β -farnesene (4.9–8.1%), terpene alcohol (farnesol), chamazulene (2.3–10.9%), α -bisabolol (4.8–11.3%), and α -bisabolol oxides A (25.5–28.7%) and α -bisabolol oxides B (12.2–30.9%), which are known for their antiinflammatory, antiseptic, antiplogistic and spasmolytic properties (Schilcher *et al.*, 2005).

Among the various major constituents, α -bisabolol and chamazulene have been reported to be more useful than others.

Chamazulene is an artifact formed from matricine, which is naturally present in the flowers during hydrodistillation or steam distillation. The color of the oil determines its quality. Blue color of the oil is due to sesquiterpene.

The chamazulene content of the various chamomiles depends on the origin and age of the material. It decreases during the storage of the flowers.

Temperature effects are quite difficult to estimate because in nature the temperature changes from region to region, at different altitudes, in various seasons and even on the same day. Therefore, most of the research has been carried out under controlled conditions (Šalamon, 2007).

Saleh (1970) carried out experiments on the effects of air temperature and thermoperiodicity on *Matricaria chamomilla* L. (fam. Compositae), with regard to its essential oil and principal active substance, chamazulene content.

Plants were placed in a phytotron at air temperatures of 25, 20 or 15°C for different periods during the 24-h cycle. Where different night temperatures were investigated the plants were held at 25° throughout the day. Lighting was supplied by fluorescent tubes for 16 h daily to all plants.

The effect of air temperature on vegetative growth was exponential and declining; night temperature had no obvious effect on the rate of vegetative growth, particularly in the early stages.

A high temperature (25°) for part or the whole of the 24-h cycle resulted in the greatest number of flower heads/plant but their size was reduced, leading to a low total dry weight/plant.

Volatile oil formation was favoured by both a constant 25° air temperature and a night temperature of 15°.

The effects of a constant air temperature on chamazulene accumulation were not consistent, but chamazulene synthesis was optimal at a night temperature of 15°.

Conclusions

In spite of the extensive work on the effect of temperature on classical plants in general, there are very few reviews on the effect of this factor on the medicinal plants, with regard to their chemical composition.

It is possible to distinguish between direct temperature effects on physiological partial processes which allow us to obtain conclusions about its effect on plant growth in general, and the different effects of temperature on the metabolic processes involved, which lead to accumulation of the desired secondary products, ie essential oils, alkaloids, glycosides, etc..

Secondary metabolites (SMs) are synthesized by medicinal and aromatic plants due to plant adaptation in response to abiotic stresses.

This review evident that temperature stress has significant impact in the formation of secondary metabolites.

References

- Akula R., Ravishankar G.A., 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary abiotic stress signals. Plant signaling and behavior, 6 (11):1720-1731.
- Allen D.J., Ort D.R., 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. Trends in plant science, V6 (1): 36-42.
- Brandle J.E., Starratt A.N., Gijzen M., 1998. *Stevia rebaudiana*: its agricultural, biological and chemical properties. Can. J. Plant Sci. 78: 527-536.
- Butterweck V., Petereit F., Winterhoff H., Nahrstedt A., 1998. Solubilized hypericin and pseudohypericin from *Hypericum perforatum* exert antidepressant activity in the forced swimming test. Planta Medica, 64: 291-294.
- Çırak C., Radusiene J., Karabük B., Janulis V., Ivanauskas L., 2007. Variation of bioactive compounds in *Hypericum perforatum* growing in Turkey during its phenological cycle. Journal of Integrated Plant Biology, 4(5): 615-620.
- Couceiro M.A., Afreen F., Zobayed S.M.A., Kozai T., 2006. Variation in concentrations of major bioactive compounds of St. John's wort, effects of harvesting time, temperature and germplasm. Plant Sciences, 170: 128-134.
- Debnath M., 2008. Clonal propagation and antimicrobial activity of an endemic medicinal plant *Stevia rebaudiana*. Journal of Medicinal Plants Research Vol. 2(2): 045-051.
- Loreto F., Schnitzler J.P., 2010. Abiotic stress and induced BVOCs. Trends in Plant Science 15(3): 154-166.
- Mahajan M., Kuiry R., Pal P.K., 2020. Understanding the consequence of environmental stress for accumulation of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants 18:100255.
- Naghiloo S., Movafeghi A., Delazar A., Nazemiyeh H., Asnaashari S., Dadpour M.R., 2012. Ontogenetic variation of total phenolics and antioxidant activity in roots: leaves and flowers of *Astragalus compactus* Lam. (Fabaceae). Bioimpacts 2(2):105-109.
- Naguib N.Y.M., 2011. Organic vs chemical fertilization of medicinal plants: a concise review of researches. Adv. Environ. Biol., 5: 394-400.
- Nathan P.J., 2001. *Hypericum perforatum* (St. John's wort): a nonselective reuptake inhibitor? A review of the recent advances in its pharmacology. Journal of Psychopharmacology, 15:47-54.
- Pradhan J., Sahoo S.K., Lalotra S., Sarma R.S., 2017. Positive impact of abiotic stress on medicinal and aromatic plants. International Journal of Plant Sciences, 12(2):309-313.
- Punetha A., Kumar D., Suryavanshi P., Padalia R.A., Katanapalya Thimmaiah V., 2022. Environmental Abiotic Stress and Secondary Metabolites Production in Medicinal Plants: A Review. Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi) 2022, 28 (3):351 – 362.
- Radušienė J., Karpavičienė B., Stanius Ž., 2012. Effect of external and internal factors on secondary metabolites accumulation in St. John's wort. Bot. Lith., 18(2): 101-108.
- Šalamon I., 2007. Effect of the internal and external factors on yield and qualitative-quantitative characteristics of chamomile essential oil. Acta Hort. 749: 45-64.
- Saleh M., 1970. The effect of air temperature and thermoperiod on the quality and quantity of *Matricaria chamomilla* L. oil. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen 70: 1-17.
- Schilcher H., Imming P., Goeters S., 2005. Active chemical constituents of *Matricaria chamomilla* L. syn. *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert. In: Franke R., Schilcher H., editors. Chamomile industrial profiles. Boca Raton: CRC Press; 2005: 55-76.
- Shibata M., Amano M., Kawata J., Uda M., 1988. Breeding process and characteristics of 'Summer Queen', a spray-type chrysanthemum. Bulletin of the National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea Series A 2: 245-255
- Singh O., Khanam Z., Misra N., Srivastava M.K., 2011. Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): An overview. Pharmacognosy Reviews, Vol 5 (9):82-95.
- Soufi S., Rezgui S., Bettaieb T., 2015. Early effects of chilling stress on the morphological and physiological status of pretreated *Stevia rebaudiana* Bert. seedlings. Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology 14 (5): 467-472.
- Tapsell L.C., Hemphill I., Cobiac L., Sullivan D.R., Fenech M., Patch C.S., Roodenrys S., Keogh J.B., Clifton P.M., Williams P.G., Fazio V.A., Inge K.E., 2006. Health benefits of herbs and spices: the past, the present, the future. Medical Journal of Australia, 185 (4): S1-S24.
- Verma N., Shukla S., 2015. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2:105-113.
- World Health Organization (WHO), 2013. WHO traditional medicine strategy: 2014-2023. <http://www.who.int>.
- Zobayed S.M.A., Afreen F., Kozai T., 2005. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in St. John's wort. Plant Physiology and Biochemistry, 43: 977-984.

APPLICAZIONE DELL'INDICE DI FABBISOGNO IRRIGUO I_{IN} PER LA MAPPATURA PROSSIMALE E REMOTA DELLO STRESS IDRICO NEL VIGNETO

APPLICATION OF THE IRRIGATION NEEDS INDEX I_{IN} FOR PROXIMAL AND REMOTE MAPPING OF VINEYARD WATER STRESS

Ana Fernandes de Oliveira*, Simone Cossu, Massimiliano Giuseppe Mameli, Daniela Satta

AGRIS Sardegna, Agenzia Regionale per la Ricerca in Agricoltura, Servizio Ricerca nell'Arboricoltura, Via De Martini, 244 – 07100 Sassari
*afoliveira@agrisricerca.it

Abstract

The unmanned aerial vehicle (UAV) platforms for low altitude, high spatial resolution, low-cost remote sensing open new pathways for the development of precision agriculture. Accurate collection of multispectral and/or thermal imagery enables precise mapping of plant growth and crop stress conditions, through vegetation indices. In 2021 and 2022, we tested the use of a water deficit index, the irrigation need index (I_{IN}) for proximal and remote detection of water stress in vineyards of cultivar Vermentino and Cannonau, grown in four different areas of Sardinia: Nurra, Gallura, Parteolla and Jerzu. The I_{IN} correlates the thermal conditions of the crop with the evaporative demand at the vineyard site to allow for an easy, intuitive and immediate reading of the need for irrigation, during key phenological stages for grape yield and quality. Regression analysis of data measured in plants, concerning physiological performance over the two vintages with temperature data, remotely or proximally sensed, or gathered using micrometeorological platforms, showed high potential of the I_{IN} for the environmental conditions of Sardinia. The possibility of developing prescription maps based on I_{IN} monitoring closely depends upon the methodological accuracy in remote and ground-based data collection.

Parole chiave

Stress idrico nel vigneto, gestione del fabbisogno irriguo, telerilevamento remoto e prossimale, mappe di prescrizione

Keywords

Vineyard water stress, irrigation need management, remote and proximal sensing, prescription maps.

Introduzione

La ricerca per l'innovazione e lo sviluppo tecnologico dell'agricoltura ha consentito di sviluppare negli ultimi decenni diversi strumenti in grado di caratterizzare profondamente le performance delle colture e l'ambiente in cui le piante sono coltivate (Costa *et al.*, 2019). L'evoluzione delle tecniche di rilevamento remoto e prossimale ha ugualmente supportato la creazione di nuovi strumenti di agricoltura di precisione che permettono oggi di ottimizzare la gestione agronomica di molte coltivazioni, arboree ed erbacee, in ambiente mediterraneo (Jones, 1999; Matese *et al.*, 2018). Da una efficace applicazione di queste nuove tecnologie si è avvalorata la coltivazione di specie arboree su grandi appezzamenti. In effetti, oltre a garantire un uso sostenibile delle risorse ambientali, si osservano importanti miglioramenti produttivi e di controllo della qualità in pieno campo, grazie all'applicazione di queste nuove tecnologie alla gestione dello stato vegeto-produttivo, idrico e fitosanitario delle colture. Tuttavia, la necessità di adattare le pratiche colturali al cambiamento climatico e di implementare metodi e tecnologie capaci di mitigarne l'impatto, è ancora cruciale nelle regioni più vulnerabili, caratterizzate da sempre più frequenti ondate di calore e siccità prolungata. Per questo motivo è necessario concentrare gli sforzi sullo sviluppo di sistemi di supporto alla gestione irrigua in grado di garantire l'uso economico ed ecologicamente sostenibile dell'acqua disponibile nell'azienda (Costa *et al.*, 2019). In questo lavoro è stata

testata l'accuratezza dell'indice di fabbisogno irriguo (I_{IN}) per il monitoraggio, remoto o prossimale, delle necessità di irrigazione nel vigneto. Il calcolo di I_{IN} si basa sul presupposto che la differenza di temperatura tra chioma e aria rappresenta la perdita potenziale di acqua da parte della pianta ed è linearmente correlata con il deficit di pressione di vapore dell'aria durante la maggior parte del giorno (Idso, 1981). L'indice, normalizzato con le temperature dell'aria a bulbo secco e a bulbo umido, consente una stima semplice e immediata del fabbisogno irriguo, ed è applicabile anche in condizioni meteorologiche variabili (Grant *et al.*, 2007; Loveys *et al.*, 2008). In questo modo, si tiene conto delle condizioni termiche delle piante e del potere evaporante dell'atmosfera nell'areale di ubicazione della coltura. Le variazioni nei valori dell' I_{IN} sono linearmente correlate con le variazioni del potenziale idrico del germoglio (Fernandes de Oliveira *et al.*, 2021), l'indicatore più sensibile alle differenze fisiologiche varietali di fabbisogno e efficienza di uso dell'acqua. Per questo motivo, nel biennio 2021/22, la validità dell'applicazione dell' I_{IN} per la gestione dello stress idrico del vigneto, tramite *remote* e *proximal sensing* della temperatura della chioma e della temperatura e umidità dell'aria, tramite una stazione micrometeorologica locale o con dati provenienti dalla rete di stazioni meteorologiche del Dipartimento Meteorologico dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Sardegna (ARPAS), è

stata valutata sulle cultivar Cannonau e Vermentino, allevate in quattro differenti areali della Sardegna.

Materiali e Metodi

Lo studio è stato condotto negli areali viticoli della Nurra (40°38'28"N, 8°20'0.5"E), della Gallura (41°03'22"N, 9°20'28"E), del Parteolla (39°21'52"N, 9°6'1.3"E) e di Jerzu (39°47'13"N, 9°36'40"E), su due vigneti adulti contigui, delle cv Cannonau e Vermentino innestate su portinnesto 1103 Paulsen, ad eccezione dei vigneti della Nurra (con portinnesti 110 R e K5BB, rispettivamente). Tutti i vigneti sono allevati a controspalliera, con potatura Guyot nel Vermentino e cordone speronato nel Cannonau, con un sesto d'impianto 2.5 m × 1.0 m e irrigati per mezzo di ala gocciolante sospesa a circa 40 cm dal suolo. Nei vigneti della Gallura e di Jerzu, il suolo è gestito con inerbimento permanente e periodica trinciatura, mentre nei vigneti della Nurra e del Parteolla, inerbimento e lavorazione del suolo nell'interfilare si alternano ogni anno. Durante le fasi di sviluppo e maturazione dei grappoli, nelle due annate di studio, il telerilevamento remoto è stato effettuato in ogni sito in un'area di ca. 20 ha, tramite sensore DUO PRO R, 640, 13mm, 30Hz, 45 x 37 FOV (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR, USA) montato su una piattaforma UAV Zenmuse XT2 (DJI, Shenzhen, CN), con modulo GPS integrato, per un tempo di volo di ca. 20 minuti e atterraggio verticale. Il piano di volo è stato gestito attraverso il software specifico della piattaforma e i rilievi UAV sono stati condotti ad una altitudine variabile da 60 a 80 m dal suolo, funzione dello stato di sviluppo vegetativo delle chiome e delle condizioni meteorologiche della giornata. La risoluzione dell'immagine al suolo è quindi variata fra 0.06 e 0,01 m pixel⁻¹ e il sensore termico ha rilevato le immagini con esposizione fissa e frequenza di scatto automatico di 0,2 s. Il percorso generato ha previsto la sovrapposizione sia tra foto e sia tra linee di volo, di 75-80%, al fine di garantire elevata accuratezza nella fase di elaborazione della mosaicatura. In ogni areale, i voli sono stati effettuati al mezzogiorno solare, per un totale di 7 date. Simultaneamente, il monitoraggio in pieno campo, di gruppi georeferenziati di piante distribuite seguendo un disegno sperimentale a blocchi (5 in Gallura e Nurra e 6 nel Parteolla e Jerzu), composti da 15 a 20 piante consecutive, ha permesso di rappresentare le performance fisiologiche, la vigoria e la densità delle chiome nell'intero appezzamento rilevato in remoto, ai fini della validazione dei dati. Oltre al monitoraggio degli scambi gassosi fogliari e del potenziale idrico del germoglio (2 repliche per ogni blocco), la temperatura della chioma è stata rilevata anche tramite una termocamera PTi 120 (IFOV 7.6 mmRad, 120 x 90, Fluke Corporation, Everett, WA, USA), replicando due volte i rilievi nei lati esposti ad est e ad ovest, mantenendo una distanza di ca. 1 m tra la camera e la parete vegetale. Infine, è stata installata una stazione micrometeorologica (Rossi Strumenti Srls, FI, IT) dotata da 4 termistori, posizionati sui lati est e ovest della chioma, un sensore termoisolmetrico con lamella schermante e due sensori di radiazione solare globale (uno sopra la chioma e un altro

all'interno di essa). I dati sono stati registrati per mezzo di un datalogger FL Sens USB (Rossi Strumenti Srls, FI, IT). Per ogni blocco sperimentale, i valori medi di temperatura della chioma, registrata in modo prossimale e i valori massimi rilevati in remoto, sono stati utilizzati nel calcolo dell' I_{IN} , poiché possono rappresentare l'intensità dello scambio gassoso e l'efficienza di uso dell'acqua degli strati fogliari esposti e fotosinteticamente attivi durante il rilievo. Inoltre, si sono tenuti in considerazione i valori di temperatura e umidità dell'aria registrati, contemporaneamente al volo, nella stazione micrometeorologica locale o nella stazione meteorologica ARPAS più rappresentativa dell'areale. L'accuratezza di questi metodi per la determinazione dell' I_{IN} e la stima dello stato idrico del vigneto per ciascuna varietà è stata valutata tramite analisi di regressione lineare tra valori dell'indice e i valori medi di potenziale idrico del germoglio misurati per ogni blocco, data ed areale.

Risultati e Discussione

Dall'analisi di regressione lineare per la stima del fabbisogno irriguo, utilizzando le differenti metodologie di calcolo dell' I_{IN} nelle due varietà (Tab.1 e Fig.1) si è evidenziata la significatività dei modelli, similmente elevata per tutte LE metodologie di rilievo ($p < 0.001$).

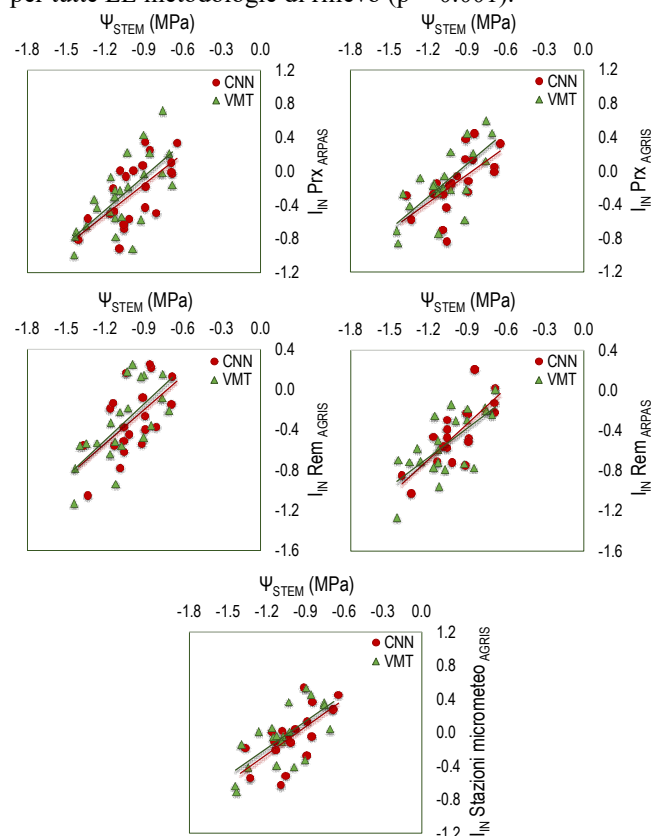


Fig.1- Correlazioni lineari tra valori di Ψ_{STEM} e I_{IN} nel Cannonau e nel Vermentino, in condizioni idriche diverse, utilizzando differenti metodi di rilievo, remoto e prossimale. Fig.1 - Linear correlation between Ψ_{STEM} and I_{IN} in Cannonau (CNN) and Vermentino (VMT) with different water status, using remote and proximal sensing methods.

Tab.1 – Statistiche descrittive e performance dei modelli di regressione lineare tra il potenziale idrico del germoglio nelle cv Cannonau (CNN) e Vermentino (VMT), e l'indice di fabbisogno irriguo (I_{IN}), con dati raccolti in remoto e prossimali.

Tab.1- Descriptive statistics and performance of linear regression models between stem water potential in cv Cannonau (CNN) and Vermentino (VMT), and irrigation need index (I_{IN}) from remotely and proximally sensed data.

CV	Statistiche descrittive						
	Metodo telerilevamento	gl ₁	gl ₂	Sign. Regressione	R	R ²	R ² adj.
CNN	Staz. Micrometeo.	1	18	0.001	0.681	0.461	0.431
	Prox. Staz. AGRIS	1	19	0.002	0.727	0.408	0.377
	Prox. Staz. ARPAS	1	20	0.001	0.689	0.428	0.400
	Rem. Staz. AGRIS	1	18	0.005	0.693	0.356	0.321
VMT	Rem. Staz. ARPAS	1	17	0.0001	0.686	0.580	0.555
	Staz. Micrometeo.	1	18	0.001	0.679	0.464	0.434
	Prox. Staz. AGRIS	1	19	0.0001	0.639	0.528	0.503
	Prox. Staz. ARPAS	1	23	0.0001	0.654	0.474	0.451
	Rem. Staz. AGRIS	1	20	0.0001	0.597	0.4800	0.454
	Rem. Staz. ARPAS	1	20	0.0001	0.762	0.4700	0.444

CV	Metodo Telerilevamento	Predittori	Coeff. non standardizzati			Sign. Variabili	Durbin Watson	MAE	MA%E	RMSE	Eff. _{NS}
			α	β	Err. Std.						
CNN	Staz. Micrometeo.	Intercetta	0.418	0.033	0.0001	1.707	0.08	-8.89	0.12	0.98	
		I_{IN}	-0.982	0.107	0.001						
	Prox. Staz. AGRIS	Intercetta	-0.938	0.036	0.0001	1.479	0.09	-9.50	0.12	0.97	
		I_{IN}	0.369	0.102	0.002						
	Prox. Staz. ARPAS	Intercetta	-0.889	0.040	0.0001	2.372	0.11	-11.47	0.13	0.97	
		I_{IN}	0.354	0.090	0.001						
Rem. Staz. AGRIS	Intercetta	-0.899	0.046	0.0001	1.946	0.08	-8.57	0.12	0.96		
	I_{IN}	0.318	0.101	0.005							
Rem. Staz. ARPAS	Intercetta	-0.774	0.054	0.0001	1.877	0.07	-7.58	0.10	0.96		
	I_{IN}	0.489	0.101	0.0001							
VMT	Staz. Micrometeo.	Intercetta	0.433	0.038	0.0001	1.32	0.09	-9.19	0.13	0.98	
		I_{IN}	-1.05	0.110	0.001						
	Prox. Staz. AGRIS	Intercetta	-1.017	0.036	0.0001	1.61	0.09	-8.54	0.13	0.98	
		I_{IN}	0.406	0.088	0.0001						
	Prox. Staz. ARPAS	Intercetta	-0.967	0.040	0.0001	1.628	0.12	-11.89	0.15	0.97	
		I_{IN}	0.355	0.078	0.0001						
Rem. Staz. AGRIS	Intercetta	-0.933	0.047	0.0001	1.021	0.10	-9.97	0.13	0.96		
	I_{IN}	0.398	0.093	0.0001							
Rem. Staz. ARPAS	Intercetta	-0.799	0.070	0.0001	1.135	0.10	-10.37	0.14	0.93		
	I_{IN}	0.483	0.115	0.0001							

gl- gradi di libertà; MAE- errore assoluto medio; MA%E- errore percentuale assoluto medio; RMSE- errore quadratico medio; Eff._{NS} - coefficiente di efficienza del modello di Nash Sutcliffe.

gl- degrees of freedom; MAE-mean absolute error; MA%E- mean absolute percentage error; RMSE- Root Mean Square Error; Eff._{NS}- Nash Sutcliffe model efficiency coefficient.

I valori della statistica di Durbin Watson indicano assenza di problemi di autocorrelazione nei campioni. Inoltre, l'errore percentuale assoluto medio è stato inferiore a 10% nella gran parte dei metodi, e leggermente superiore nel metodo prossimale. Questo fatto è da attribuirsi in primo luogo a una maggior interferenza dell'effetto di sfondo nelle misurazioni prossimali della temperatura della chioma, difficilmente eliminabile in coltivazioni con parete vegetale discontinua. Una maggiore precisione su queste coltivazioni può essere ottenuta con una minore distanza tra il sensore e la parete vegetale. I coefficienti di efficienza di Nash-Sutcliffe indicano un'accurata approssimazione tra valori osservati e stimati, mentre MAE, MA%E e RMSE mostrano buon adattamento dei residui della regressione alla retta 1:1 (Tab.1 e Fig. 1).

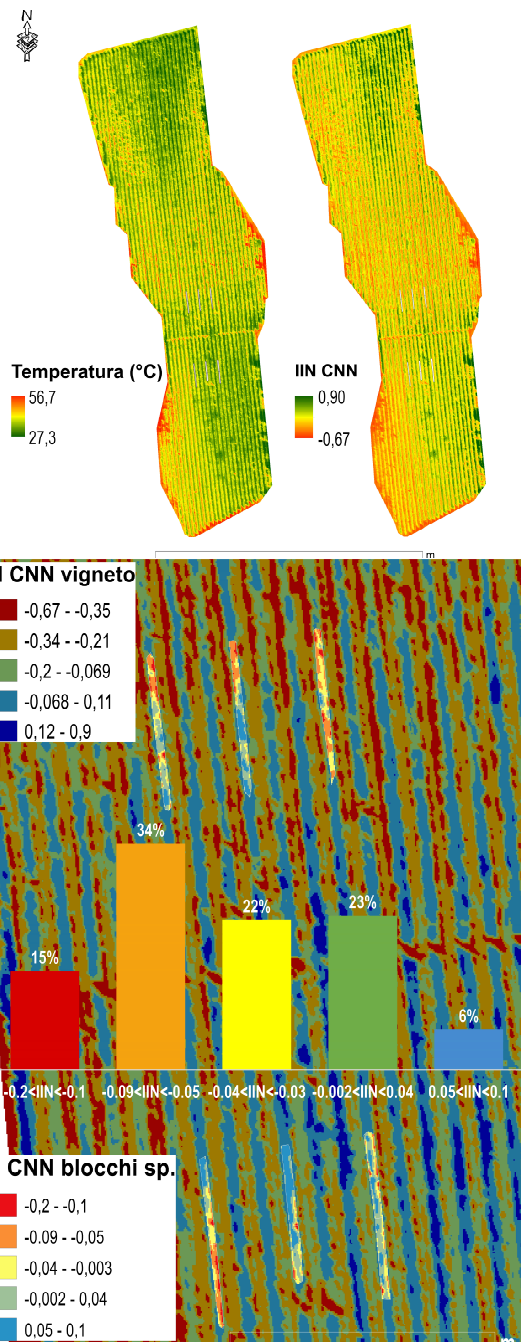


Fig.2- Mappa termica del vigneto di Cannonau nell'areale di Jerzu il 27/08/2021, mappa di I_{IN} derivato e mappa di dettaglio sul range di valori di I_{IN} nei blocchi sperimentali utilizzati ai fine della validazione, con rappresentazione grafica della percentuale di superficie fogliare esposta ai differenti range di fabbisogno irriguo.

Fig.2- Map of Cannonau vineyard temperature in Jerzu area on 27/08/2021, derived I_{IN} map and detail map of the range of I_{IN} values at the experimental blocks used for validation purposes, with graphical representation of the percentage of leaf area exposed to different ranges of irrigation requirements.

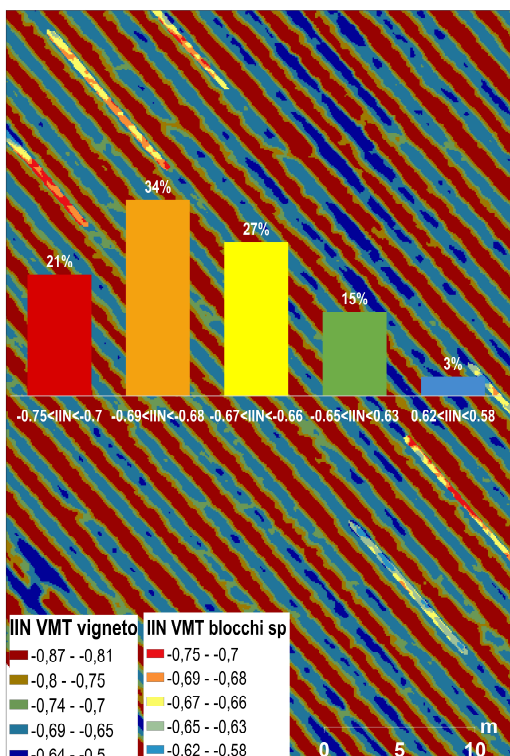
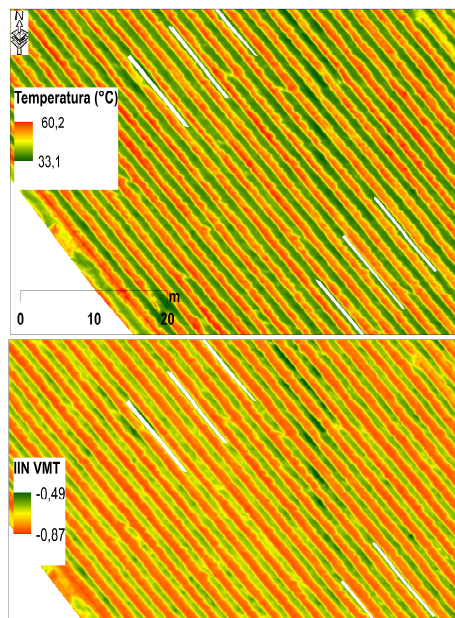


Fig.3- Mappa termica del Vermentino nell'areale di Jerzu il 27/08/2021, mappa di I_{IN} derivato e mappa di dettaglio sui range di valori di I_{IN} nei blocchi sperimentali utilizzati ai fine della validazione, con rappresentazione grafica della percentuale di superficie fogliare esposta ai differenti range di fabbisogno irriguo.

Fig.3- Map of Vermentino temperature in Jerzu area on 27/08/2021, derived I_{IN} map and detail map of the ranges of I_{IN} values at the experimental blocks used for validation purposes, with graphical representation of the percentage of leaf area exposed to different ranges of irrigation requirements.

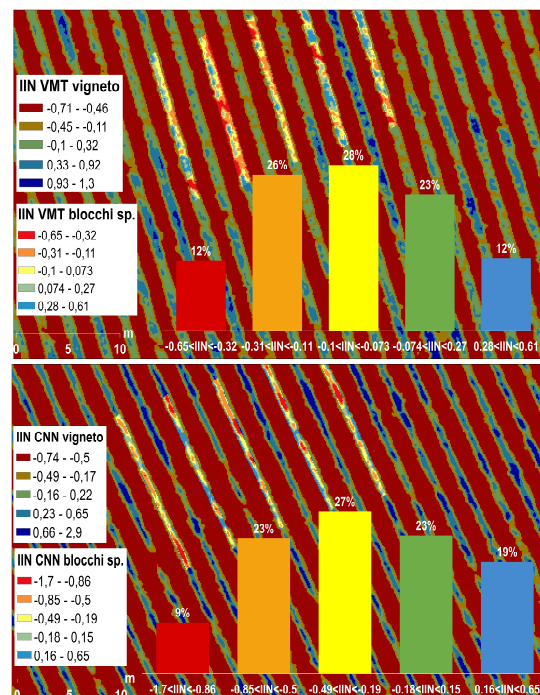
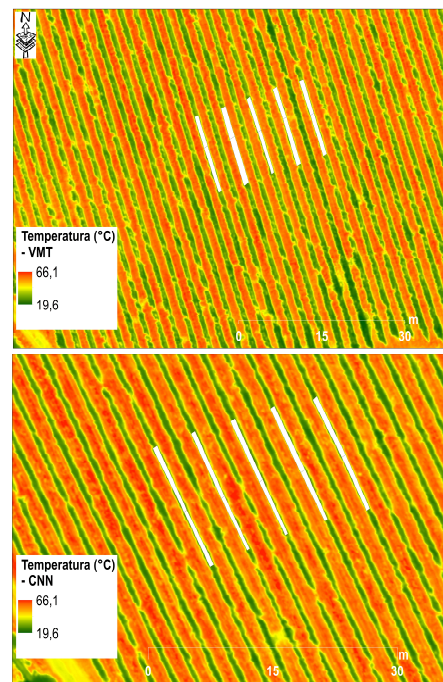


Fig.4- Mappe termiche dei vigneti di Cannonau e Vermentino in Gallura il 30/07/2021 e mappe di dettaglio sui range di valori di I_{IN} nei blocchi sperimentali utilizzati ai fine della validazione, con rappresentazione grafica della percentuale di superficie fogliare esposta ai differenti range di fabbisogno irriguo.

Fig.4- Maps of Cannonau and Vermentino vineyard temperature in Gallura area on 30/07/2021 and detail maps of the ranges of I_{IN} values at the experimental blocks used for validation purposes, with graphical representation of the percentage of leaf area exposed to different ranges of irrigation requirements.

Nel biennio di studio, la finestra temporale dei rilievi è stata relativamente stretta, con predominio di condizioni di siccità e stress idrico da moderato a severo. Per questo motivo, ai fini di una validazione del metodo più comprensiva, è importante estendere il set di dati e l'insieme di rilievi alle fasi fenologiche precedenti, quando la conducibilità idraulica dei germogli in attiva crescita è molto alta, la disponibilità di acqua nel suolo è elevata e soddisfa pienamente la domanda evaporante.

Le figure 2, 3 e 4, mostrano come le mappe di I_{IN} in remoto, basate su rilievi di temperatura delle chiome e delle condizioni termoigrometriche atmosferiche nell'areale del vigneto, consentono di evidenziare le reali esigenze irrigue, l'estensione delle zone soggette a stress e l'eventuale presenza di criticità nei livelli di stress idrico registrato. In effetti, il confronto delle mappe di temperatura della chioma con le mappe I_{IN} , normalizzato con i dati della stazione micrometeorologica in situ o con i dati della stazione ARPAS più vicina, mostra importanti differenze. L'interpretazione dell' I_{IN} consente di definire mappe di prescrizione irrigua, poiché intimamente legata alle performance fisiologiche delle piante durante il rilievo e significativamente correlata al loro stato idrico effettivo.

Conclusioni

L'applicazione dell'indice di fabbisogno irriguo I_{IN} per la mappatura dello stress idrico nel vigneto può essere effettuata in modo prossimale o da remoto. L'accuratezza della determinazione dipende dalla precisione metodologica nel rilievo della temperatura delle chiome. La normalizzazione delle temperature può essere effettuata con dati raccolti in pieno campo o provenienti da stazioni meteorologiche che seguono gli standard dell'WMO. L'interpretazione diretta dei valori di I_{IN} è compatibile con lo sviluppo di mappe di prescrizione irrigua. La semplicità del metodo e i risultati ottenuti con la validazione di I_{IN} in campo vitivinicolo, motivano lo sviluppo futuro di una applicazione dashboard di supporto alla decisione ai fini di una programmazione ottimale dell'irrigazione e l'automazione della raccolta dei dati.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Dott. Michele Fiori per il supporto nell'acquisizione di dati meteorologici dalle stazioni ARPAS, il Sig. Giandomenico Scanu e il Sig. Mauro Sedda per la collaborazione nella raccolta di dati in campo e la JPdroni S.r.l. per il supporto nel telerilevamento da remoto e mosaicatura termica.

Bibliografia

- Costa J.M., Marques Da Silva J., Pinheiro C., Barón M., Mylona P., Centritto M., Haworth M., Loreto F., Uzilday B., Turkan I., 2019. Opportunities and limitations of crop phenotyping in Southern European countries. *Front. Plant Sci.* 10, 1125.
- Fernandes de Oliveira A., Mameli M.G., Lo Cascio M., Sirca C., Satta D., 2021. An Index for user-friendly proximal detection of water requirements to optimized irrigation management in vineyards. *Agronomy* 11, 323.
- Grant O.M., Tronina L., Jones H.G., Chaves M.M., 2007. Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. *J. Exp. Bot.* 58, 815-825.
- Idso S.B., Jackson R.D., Pinter P.J., Reginato R.J., Hatfield J.L., 1981. Normalizing the stress degree day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24, 45-55.
- Jones H.G., 1999. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance in irrigation scheduling. *Agr. For. Meteorol.* 95, 139-149.
- Loveys B.R., Jones H.G., Theobald J.C., McCarthy M.-G., 2008. An assessment of plant-based measures of grapevine performance as irrigation scheduling tools. *Acta Hort.* 792, 421-427.
- Matese A., Baraldi R., Berton A., Cesaraccio C., Di Gennaro S., Duce P., Facini O., Mameli M., Piga A., Zaldei A., 2018. Estimation of water stress in grapevines using proximal and remote sensing methods. *Remote Sens.* 10, 114.

INFLUENCE OF MICROCLIMATIC CONDITIONS ON VEGETATIVE GROWTH AND FRUIT QUALITY OF A PEACH ORCHARD (*PRUNUS PERSICA* (L.) BATSCH) GROWN UNDER COLORED SHADING NET (CHROMATINET® RED 40%)

INFLUENZA DELLE CONDIZIONI MICROCLIMATICHE SULLA CRESCITA VEGETATIVA E SULLA QUALITÀ DEI FRUTTI DI UN PESCHETO (*PRUNUS PERSICA* (L.) BATSCH) ALLEVATO SOTTO RETE OMBREGGIANTE COLORATA (CHROMATINET® RED 40%)

Liliana Gaeta^{1*}, Maria Roberta Bruno¹, Pasquale Campi¹, Onofrio Cappelluti¹, Gabriele De Carolis¹, Anna Francesca Modugno¹, Gianfranco Rana¹, Rossana Monica Ferrara¹

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

* liliana.gaeta@crea.gov.it

Abstract

The strategies to mitigate climate change such as the use of shading covers in agriculture are increasingly important. During 2021, in an experimental peach orchard of CREA-AA located in South Italy, the effects of a red shading net (ChromatiNet® Red 40%) on modulation of microclima and plant performance were evaluated. Climatic variables, shoot growth, fruit weight, fruit size, overcolor, flesh firmness and soluble solids content (SSC) were measured. The microclimatic conditions under covered (C) showed little variation than uncovered (NC). The red shading net seems to stimulate vegetative growth rate on peach tree. In general, fruit quality seems to be better under C than NC, except for SSC soluble solids content (14,8°Brix for NC vs 13,7°Brix for C). Further investigations are needed for confirming these preliminary data to better understand the role of red photosensitive nets on physiology of peach trees under semi-arid climate conditions.

Parole chiave italiano

Cambiamento climatico, temperatura, velocità del vento, crescita germogli, contenuto in solidi solubili.

Keywords english

Climate change, temperature, wind speed, shoots growth, soluble solids content.

Introduction

Due to the climatic changes of the last decades, which have led to more extreme weather conditions, it has become necessary to use techniques that protect the crops from abiotic stress without compromising quality and productivity. Different colored nets have been used with different effects on trees crops depending on the net color and specie. The photo-selective nets improved yields in apple (Shahak *et al.*, 2008; Ombódi *et al.*, 2015), fruit quality in kiwi and apple (Basile *et al.*, 2008; Lobos *et al.*, 2013; Corollaro *et al.*, 2015), and tree vigor in nectarine (Giaccone *et al.*, 2012; Bastias *et al.*, 2015). The aim of this study was to evaluate the effect of microclimatic changes due to red shading nets on shoot growth and fruit quality of peach trees.

Materials and Methods

The study was carried out during 2021, in the experimental field of CREA-AA located in Rutigliano-Bari South Italy (lat.: 40°59'N, long.: 17°01'E, alt.: 147 m asl) on peach orchard, cv "Calred" grafted on Missouri. Trees were trained as slender spindle and spaced 4.0 x 2.5 m. The growing area is characterized by a typical Mediterranean climate (Losciale *et al.*, 2020). On an area of 210 m² with 21 trees, ChromatiNet® Red 40% shading net (C, PolyEur Srl,

Benevento, Italy) was applied and compared with the same area without a cover net (NC, fig. 1-2).



Fig.1 - Pescheto coperto con rete ombreggiante rossa (ChromatiNet® Red 40%)

Fig.1 - Peach tree under red shading net (ChromatiNet® Red 40%)

Two agrometeorological stations (Tecno.el Srl, Rome, Italy) (fig. 3) were located in the experimental site, below and outside the shading net. Precipitation (mm) with a rain

gauge, solar radiation (W/m^2) with a radiometer, temperature ($^{\circ}C$) and relative humidity of air (%) with a thermo-hygrometer were recorded every 60 min. These last two parameters were utilized to calculate the vapor pressure deficit (VPD). Growing Degree Days (GDD) were computed from 6th May at harvest (16 September) considering the minimum and maximum temperature and 7 and 35 $^{\circ}C$ as threshold values for peach (McMaster and Wilhelm 1997; Souza *et al.*, 2019).



Fig.2 - Piante di pesco non coperte
Fig.2 - Peach trees uncovered



Fig.3 - Stazione meteorologica sotto rete ombreggiante
Fig.3 - Meteorological station under shading net

Four shoots (fig. 4) per tree (5 tree for treatment) were measured (cm) during the season in the following days of the year (DOY): 139, 152, 168, 187, 203, 217, 249 and the absolute growth rate (AGR, $cm\ day^{-1}$) was calculated. At harvest (DOY 259), the fruit weight (g), fruit size (mm), flesh firmness ($kg/0,5cm^2$), total soluble solids content ($^{\circ}Brix$) and fruit skin red overcolor (%) were measured on 18 fruits per treatment.



Fig.4 - Misurazione lunghezza germogli
Fig.4 - Shoot length measurement

The ANOVA was used to analyze the significant difference in the treatments. The statistical analyses were computed using the R statistical software environment (<http://www.r-project.org>).

Results and Discussion

The air temperature and VPD (fig. 5, 6, standard deviations not shown for clarity, values are the average of all available data), showed differences between the treatments during daytime hours with higher values in C than NC. Although the covered treatment was not completely enclosed, these results are in agreement with Pérez *et al.* (2006) and Stamps (1994) that observed during daytime higher temperatures under enclosed net (shade) houses than outside.

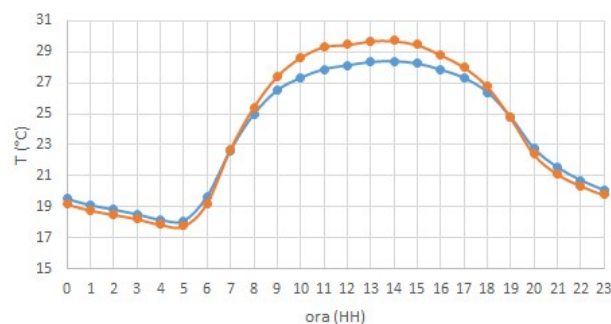


Fig.5 - Temperatura giornaliera calcolata come media oraria dell'intera stagione di crescita 2021 nel non coperto (NC-linea blu) e coperto (C_in-linea arancione)

Fig.5 - Daily temperature calculated as hourly mean of the entire season 2021 in non covered (NC- blue line) and indoor (C-orange line)

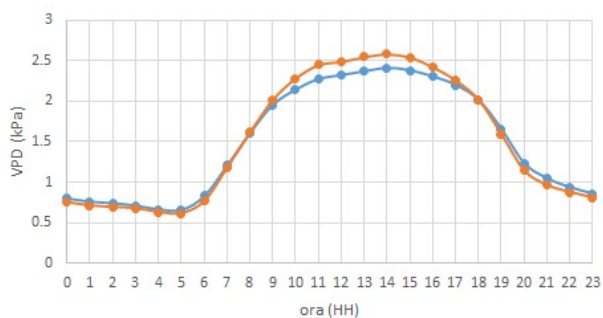


Fig.6 - Deficit di pressone di vapore (VPD) calcolato come media oraria dell'intera stagione di crescita 2021 nel non coperto (NC-linea blu) e coperto (C-linea arancio)

Fig.6 - Daily vapour pressure deficit (VPD) calculated as hourly mean of the entire season 2021 in non covered (NC-blue line) and indoor (C-orange line)

Significant differences were recorded for wind speed (fig. 7) in the two treatments. Under the net, wind speed was lower than outside, in accordance with Illic *et al.* (2017). According to Novello *et al.* (2013), covering nets can reduce wind speed by 80-85%.

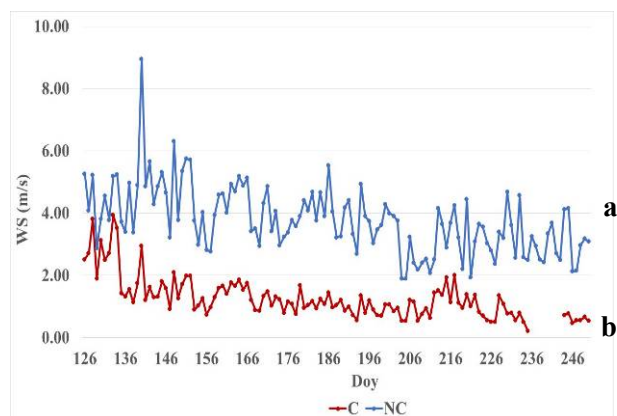


Fig.7 - Velocità del vento (WS) misurati nella stagione produttiva 2021, nel coperto (C) e nel non coperto (NC). Lettere diverse (a-b) indicano una differenza significativa (p -value < 0.001)

Fig.7 - Wind speeds (WS) measured in the 2021 production season, in the covered (C) and uncovered (NC). Different letters (a-b) indicate a significant difference (p -value < 0.001)

Global radiation under the net has an average value 25% lower than outside, while the GDD values under the cover were only 1% greater than outside (data not shown).

These differences in microclimatic conditions have impacts on the development of shoots (fig. 8 a, b) with higher length (+12%) and absolute relative growth in covered than non-covered treatment. In general, different studies showed a significant improvement on vegetative growth rate for trees growing under covering (Shahak *et al.*, 2016), with a higher vigour of foliage (leaf surface) in peach (Vuković *et al.*, 2016).

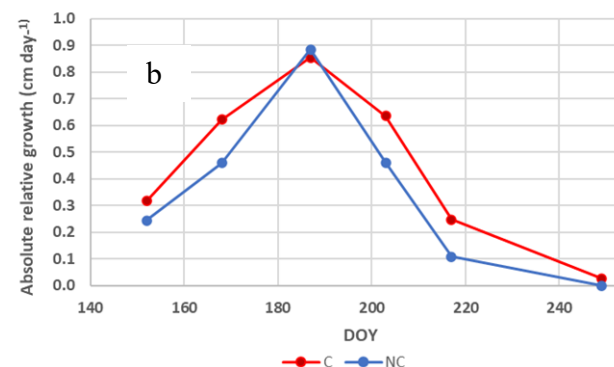
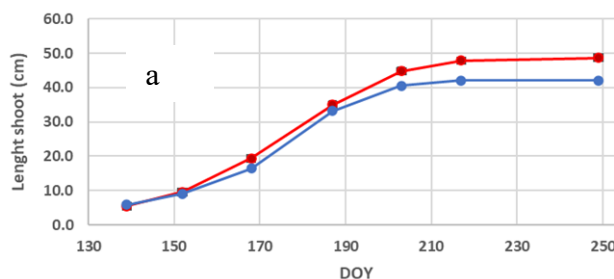


Fig.8 - a) Lunghezza dei germogli e b) tasso di crescita misurati nella stagione produttiva 2021, nel coperto (C) e nel non coperto (NC)

Fig.8 - b) Shoot length and absolute relative growth (AGR) measured in the 2021 production season, in the covered (C) and uncovered (NC)

Most of the ripening indexes used to identify the quality of the fruit were higher in covered than control, except to flesh firmness and sugar content.

The major average fruit weight (fig. 9) and fruit size (fig. 10) in C than NC is probably due to higher VPD values observed in covered than non-covered treatment (fig. 6); indeed, as reported by Morandi *et al.* (2010), VPD is considered the driven force for fruit growth.

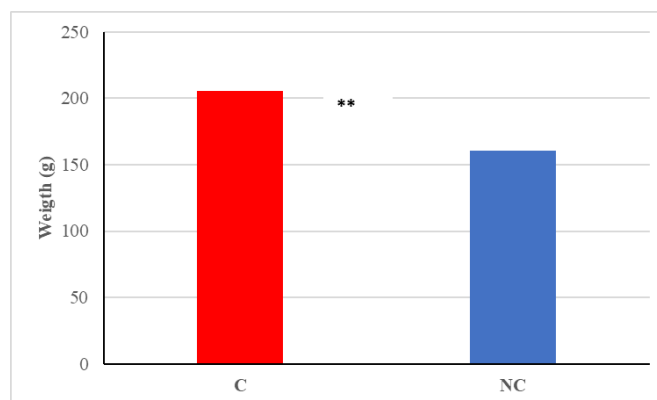


Fig.9 - Peso medio dei frutti alla raccolta, nel coperto (C) e nel non coperto (NC). ** indicano una differenza significativa per p -value < 0.01

Fig.9 - Mean fruit weight measured at harvest, in the covered (C) and uncovered (NC). ** indicate a significant difference for p -value < 0.01

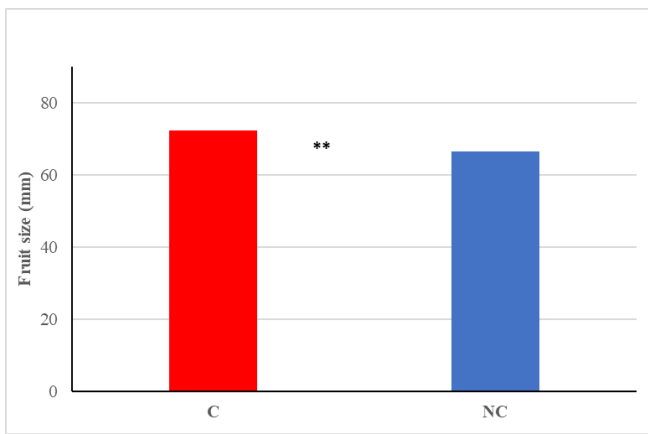


Fig.10 - Calibro del frutto alla raccolta, nel coperto (C) e nel non coperto (NC). ** indicano una differenza significativa per p-value <0.01

Fig.10 - Fruit size at harvest, in covered (C) and uncovered (NC) ** indicate a significant difference for p-value <0.01

The flesh firmness was lower in covered than control (fig. 11), in agreement with Vuković *et al.* (2016) that observed a fruit ripening acceleration in peach fruits grown under red net than no covered. However, our results are in contrast with other authors that observed a delay of harvest in peach fruit growing under red net with flesh firmness higher than uncovered (Schettini *et al.*, 2009; Giaccone *et al.*, 2012).

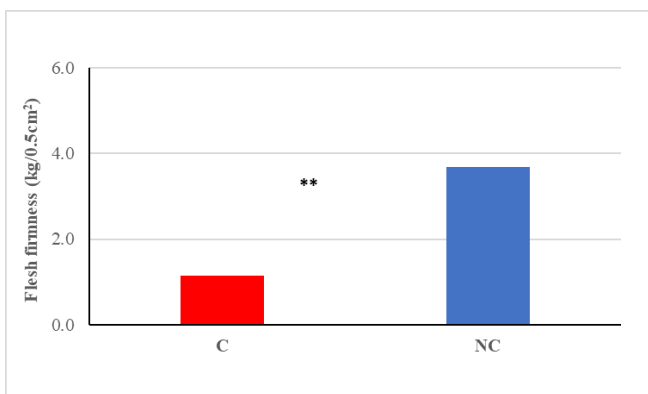


Fig.11 - Consistenza della polpa alla raccolta, nel coperto (C) e nel non coperto (NC). **. ** indicano una differenza significativa per p-value <0.01

Fig.11 - Flesh firmness at harvest, in covered (C) and uncovered (NC). ** indicate a significant difference for p-value <0.01

The percentage of skin overcolor not showed differences between the treatments (fig. 12); Giaccone *et al.* (2012) observed similar results on nectarine grown under red photosensitive anti-hail nets.

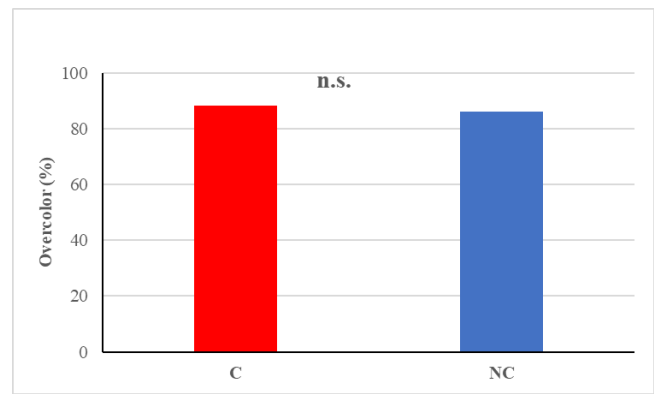


Fig.12 - Sovracolor frutti misurato alla raccolta, nel coperto (C) e nel non coperto (NC). n.s. indica nessuna differenza significativa

Fig.12 - Fruit overcolor measured at harvest, in the covered (C) and uncovered (NC). n.s. indicates no difference significant

The soluble solids content was significant different in the two treatments (fig. 13), with highest values in uncovered than covered, in agreement with Schettini *et al.* (2009). According to Grasso *et al.* (2022), cover nets can reduce the accumulation of carbohydrates, moreover, the quality parameters of fruits placed under nets show results related to the varietal characteristics of the fruits. However, the sugar content obtained in C abundantly exceeds the minimum value of 9°Brix below which negative judgment have been found by the consumer (Neri *et al.*, 2003).

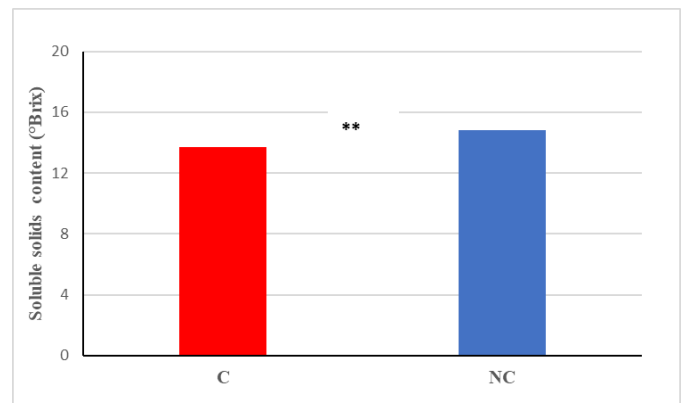


Fig.13 - Contenuto zuccherino dei frutti alla raccolta nel coperto (C) e nel non coperto (NC). ** indicano una differenza significativa per p-value <0.01

Fig.13 - Soluble solids content of fruits at harvest in the covered (C) and uncovered (NC). ** indicate a significant difference for p-value <0.01

Conclusions

The preliminary results obtained suggest that changing in microclimate variables under red photosensitive nets affects shoot development and fruit quality. Probably, the better vigor of plant (length of shoot) grown under the shading net could improve the assimilation of the photosynthetates, favoring the formation of larger fruits compared to the control treatment, but with a slight disadvantage of the sugar content. However, the sugar content of the fruit was always higher than the minimum value considered by different authors as acceptable by consumers and exceeds the minimum value (8°Brix) permitted for marketing according to European provisions (Commission Delegated Regulation EU 2021/1890). Therefore, the redshading could be used to modulate the microclima and to improve the peach orchard performance, especially in semi-arid climate conditions like Apulia region.

However, future details are necessary to support the results and to better understand the role of red photosensitive nets on physiology of peach trees in our climate conditions.

Acknowledgments

This study was carried out with a contribution of the following founding project: “Water4AgriFood, Miglioramento delle produzioni agroalimentari mediterranee in condizioni di carenza di risorse idriche”, PNR 2015–2020”, Area AgriFood, funded by MIUR, PON ARS01_00825 “Ricerca e Innovazione” 2014–2020.

References

- Basile, B., Romano, R., Giaccone, M. and Forlani, M., 2008. Intra-canopy variability of fruit quality in kiwifruit vines protected by anti-hail nets. *Acta Hort.* 801, 1445-1452.
- Bastías, R. M., and Corelli-Grappadelli, L., 2012. Light quality management in fruit orchards: physiological and technological aspects. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(4), 574.
- Corollaro, M. L., Manfrini, L., Endrizzi, I., Aprea, E., Demattè, M. L., Charles, M., Bergamaschi, M., Biasioli, F., Zibordi, M., Corelli Grappadelli, L., Gasperi, F., 2015. The effect of two orchard light management practices on the sensory quality of apple: Fruit thinning by shading or photo-selective nets. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90(1), 99-108.
- Giaccone, M., Forlani, M., Basile, B., 2012. Tree vigor, fruit yield and quality of nectarine trees grown under red photosensitive antihail nets in Southern Italy. *Acta Hort.*, 962: 287-29.
- Grasso, C., Forniti, R., Botondi, R., 2022. Post-Harvest Quality Evaluation of “Soreli” Kiwifruit at Two Ripening° Brix Values from Vineyards of Different Age Under Hail Nets. *Foods*, 11(3), 431.
- Lobos, G. A., Retamales, J. B., Hancock, J. F., Flore, J. A., Romero-Bravo, S., Del Pozo, A., 2013. Productivity and fruit quality of *Vaccinium corymbosum* cv. Elliott under photo-selective shading nets. *Scientia Horticulturae*, 153, 143-149.
- Losciale, P., Gaeta, L., Manfrini, L., Tarricone, L., Campi, P., 2020. Orchard Floor Management Affects Tree Functionality, Productivity and Water Consumption of a Late Ripening Peach Orchard under Semi-Arid Conditions. *Applied Sciences*, 10(22), 8135.
- McMaster, G. S., Wilhelm, W.W., 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. Meteorol.*, 87, 291–300.
- Neri, F., Pratella, G.C., Brigati, S., 2003. Gli indici di maturazione per ottimizzare la qualità organolettica della frutta. *Frutticoltura*, 5, 20-29.
- Novello, V., De Palma, L., 2013. Shade nets on table grapes. In *1er. Simposium Internacional de Vid. AALPUM*, 133-142.
- Ombódi, A., Pék, Z., Szuvandzsiev, P., Tóthné Taskovics, Z., Kohazi-Kis, A., Kovacs, A., Ledóné Darázsi, H., Helyes, L., 2015. Effects of external coloured shade nets on sweet peppers cultivated in walk-in plastic tunnels. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43 (2), 398-403.
- Pérez, M., Plaza, B. M. Jimé'nez, S., Lao, M. T., Barbero, J., Bosch, J. L., 2006. The radiation spectrum through ornamental net houses and its impact on the climate generated. *Acta Hort.* 719, 631–636.
- Schettini, E., De Salvador, F. R., Scarascia Mugnozza, G., Vox, G., 2009. Evaluation of coloured nets in peach protected cultivation. In *International Symposium on High Technology for Greenhouse Systems: GreenSys*, 893, 235-242.
- Shahak, Y., Ratner, K., Giller, Y. E., Zur, N., Or, E., Gussakovsky, E. E., Stern, R., Sarig, P., Raban, E., Harcavi, E., Doron, I., Greenblat-Avron, Y., 2008. Improving solar energy utilization, productivity and fruit quality in orchards and vineyards by photosensitive netting. *Acta Hort.* 772, 65–72.
- Shahak, Y., Kong, Y., Ratner, K., 2016. The wonders of yellow netting. *Acta Hort.*, 1134, 327- 334.
- Souza, F., Alves, E., Pio, R., Castro, E., Reighard, G.; Freire, A.I., Mayer, N.A., Pimentel, R., 2019. Influence of Temperature on the Development of Peach Fruit in a Subtropical Climate Region. *Agronomy*, 9 (20), 1-10.
- Stamps, R.H. (1994). Evapotranspiration and nitrogen leaching during leatherleaf fern production in shadehouses. *St. Johns River Water Management District*, Palatka, FL, 1-102.
- Vuković, M., Brkljača, M., Rumora, J., Fruk, M., Jatoi M. A., Jemrić, T., 2016. Vegetative and reproductive traits of young peaches and nectarines grown under red photosensitive net. *Agric. conspec. sci.* 81 (3), 181-185.

MICRO-IRRIGAZIONE DELLA SOIA IN UN CONTESTO DI CAMBIAMENTO CLIMATICO

DRIP IRRIGATION OF SOYBEAN IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

Carmelo Maucieri^{1*}, Arianna Toffanin², Giampaolo Rossi², Graziano Paulon², Maurizio Borin¹

¹ Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e Ambiente — DAFNAE, Università di Padova, Campus di Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 – Legnaro (PD). *carmelo.maucieri@unipd.it

² Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) – Piazza Indipendenza 25, 30027 – San Donà di Piave (VE)

Abstract

A two-year (2020, 2022) field experiment on soybean was conducted in North-East Italy to evaluate the effect of irrigation (drip irrigation vs. rainfed), two organic fertilizers (compost vs. digestate) and cover crop (triticale vs. no cover crop) on grain yield and quality. The two years recorded significantly different rainfall from May to September (523 mm and 269 mm, respectively in 2020 and 2022) while the ET₀ was similar (585 mm and 601 mm, respectively in 2020 and 2022). Irrigation was managed using the web platform Irriframe, supplying 51 mm in 2020 and 157 mm in 2022. In 2020, drip irrigation had no significant effect on grain yield (on average 4.6 Mg ha⁻¹), while in 2022 it played a key role, increasing yield by 157% compared to the rainfed control, which showed a grain yield of 1.0 Mg ha⁻¹. The use of digestate increased the average aerial biomass production (+17.3%) compared to compost (3 Mg ha⁻¹), but did not affect grain yield. Grain oil and protein contents were significantly influenced only by the experimental year. The results confirmed that irrigation is a key agronomic technique to reduce production variability and dryland vulnerability of soybean.

Parole chiave

Glycine max L.; irrigazione; fertilizzazione organica; cover crop; resa in granella

Keywords

Glycine max L.; irrigation; organic fertilization; cover crop; grain yield

Introduzione

I cambiamenti climatici in atto stanno provocando una variazione nella distribuzione e nella quantità delle precipitazioni con un aumento dell'intensità e della frequenza di siccità e alluvioni. La variabilità delle precipitazioni si manifesta sia a livello intra-annuale che inter-annuale. Questa variabilità ha un forte impatto sul settore agricolo, specialmente per le colture erbacee con ciclo primaverile-estivo che si erano diffuse in areali in cui in passato le precipitazioni piovose garantivano quasi a pieno la richiesta evapotraspirativa della coltura. In questo contesto, l'irrigazione rappresenta ora una tecnica agronomica irrinunciabile per ottenere livelli di resa sostenibili.

Va però tenuto conto che l'accessibilità alle risorse idriche per l'uso potabile, industriale, agricolo, ecc... dipende in larga misura dalla distribuzione spazio-temporale e dal bilancio idrico territoriale (Milly *et al.*, 2005; Oki e Kanae, 2006; Konapala *et al.*, 2020). Di conseguenza, i cambiamenti climatici in atto possono fortemente contrarre i volumi di acqua disponibile, con uno speculare aumento della competizione tra i vari settori di impiego (potabile, industriale e agricolo). Considerando che il settore agricolo è il maggior utilizzatore della risorsa idrica (circa il 70% di tutti i prelievi di acqua dolce) (Wisser *et al.*, 2008), ad esso è richiesto un maggiore impegno per la riduzione dei volumi impiegati, perseguibile su più fronti: territoriale e aziendale. Il primo attraverso attività di efficientamento della rete di distribuzione da parte dei Consorzi di Bonifica, il secondo attraverso l'adozione di sistemi irrigui caratterizzati da bassi volumi di adacquamento ed elevata efficienza irrigua. Tra

questi ultimi, per le colture erbacee sarchiate, appare di rilevante interesse la micro-irrigazione. Questa offre una serie di vantaggi rispetto ai sistemi irrigui tradizionali (Lamm, 2002), primo tra tutti la possibilità di applicare quantità contenute di acqua sotto chioma, direttamente alla zona radicale della coltura. Ciò permette di integrare con facilità tutta l'acqua traspirata dalla coltura, riducendo al minimo le perdite per evaporazione e aumentando la *irrigation water use efficiency*.

Oltre alla pura gestione volumetrica della risorsa idrica, una corretta e completa gestione agronomica deve tenere in considerazione anche altri fattori quale il contenuto in sostanza organica dei terreni agricoli, che ricopre un ruolo chiave nei rapporti acqua-suolo-pianta influenzando la qualità, la struttura e le proprietà idrologiche del suolo. In considerazione di ciò, l'efficientamento della gestione irrigua non può prescindere da una migliore gestione del terreno, che nel particolare miri ad incrementarne il contenuto di carbonio organico. Infatti, il ripristino del contenuto di sostanza organica in suoli poveri può aumentare la capacità di ritenzione idrica con un incremento più elevato dell'umidità percentuale alla capacità di campo rispetto al valore del punto di appassimento, e un conseguente aumento dell'acqua disponibile per le colture (Lal, 2020). Stime disponibili in bibliografia indicano che il carbonio organico aggiunto al suolo ha una capacità di stoccaggio dell'acqua pari a 10 volte il suo peso (<https://www.nrdc.org/bio/lara-bryant/organic-matter-can-improve-your-soils-water-holding-capacity>).

Tra le varie strategie agronomiche che mirano ad incrementare il carbonio organico dei suoli agricoli c'è l'impiego di fertilizzanti organici in combinazione con l'interramento dei residui colturali e l'introduzione di *cover crop*. Infatti, l'aumento dello stock di carbonio organico nel suolo è funzione del rapporto tra gli apporti di carbonio e il loro tasso di decomposizione influenzato dalle popolazioni microbiche del suolo e dalle condizioni pedo-climatiche (Cooper *et al.*, 2011). L'apporto regolare di fertilizzanti organici e di residui colturali può aumentare lo stock di carbonio organico del suolo, come già osservato in esperimenti di lungo periodo (Blair *et al.*, 2006a) con effetti positivi sulle caratteristiche fisiche del suolo (Blair *et al.*, 2006b). Li *et al.* (2017) hanno osservato un incremento nel contenuto e nella qualità del carbonio organico del suolo a seguito dell'apporto di fertilizzante organico, dipendente dal tipo di fertilizzante impiegato.

Con riferimento alle *cover crop*, in una recente metanalisi (McClelland *et al.*, 2021) effettuata per valutare il loro effetto sull'incremento di carbonio organico nei primi 30 cm di suolo, è emerso che queste hanno un significativo effetto positivo sullo stock di carbonio con un incremento medio di 0,21 Mg C·ha⁻¹·anno⁻¹. Lo studio evidenzia inoltre come la durata del ciclo e la produzione in biomassa siano i due aspetti che maggiormente influenzano la capacità di incremento del carbonio organico del suolo. Un incremento medio del contenuto in carbonio organico del suolo pari al 15,5% è stato invece calcolato da Jian *et al.* (2020) evidenziando un effetto della tessitura del suolo, del clima dell'areale di studio e dell'impiego di una consociazione di *cover crop* invece che di specie in purezza. Il tasso medio di sequestro del carbonio nelle due metanalisi sopra citate è variato da 0,56 Mg ha⁻¹ anno⁻¹ (Jian *et al.*, 2020) a 1,11 Mg ha⁻¹ anno⁻¹ (McClelland *et al.*, 2021). Va però tenuto in considerazione che l'apporto di carbonio organico da *cover crop* è principalmente costituito da forme labili. Wooliver e Jagadamma (2023) hanno dimostrato come, in un arco medio di 5 anni, l'introduzione di *cover crop* aumenti di circa il 15% la frazione labile del carbonio organico del suolo mentre solo di circa il 6% la frazione più stabile. Nonostante ciò, le *cover crop* sono una tecnica agronomica di fondamentale importanza in un agrosistema gestito con elevati input organici. Esse, infatti, permettono di ridurre la lisciviazione dell'azoto minerale residuo nel suolo alla fine del ciclo di crescita della coltura da reddito (Thapa *et al.*, 2018), derivante da un ritmo di rilascio dal materiale organico asincrono rispetto ai fabbisogni colturali.

La soia (*Glycine max* L.) è una delle cinque colture più coltivate a livello mondiale. Fornisce più di un quarto delle proteine totali per l'alimentazione umana e animale e la sua produzione mondiale è aumentata di circa 13 volte tra il 1961 e il 2017 (Liu *et al.*, 2020). È una coltura con ciclo primaverile-estivo caratterizzata da elevate esigenze idriche che possono superare i 600 mm. Viene frequentemente coltivata in asciutto ma, alla luce dei cambiamenti climatici, si avvantaggia notevolmente dell'irrigazione. Infatti, uno studio condotto recentemente (Karges *et al.*, 2022) ha messo in evidenza che sebbene negli anni con precipitazioni

sufficienti non sia necessaria un'irrigazione supplementare, questa incrementati in media del 41% la resa in granella della soia.

Alla luce di quanto fin qui riportato, una sperimentazione biennale (2020, 2022) su soia, è stata condotta in pieno campo allo scopo di valutare l'effetto dell'irrigazione e la sua interazione con la fertilizzazione organica e l'impiego di *cover crop*.

Materiali e Metodi

La sperimentazione è stata condotta presso il "Podere Fiorentina" del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) sito a San Donà di Piave (45°38'13.10" N, 12° 35' 55.00" E, 1 m s.l.m.). L'area ha un clima che secondo la classificazione di Köppen rientra nella classe Cfa, con precipitazioni concentrate soprattutto nei mesi primaverili e autunnali e frequenti temporali nelle estati caldo-umide. I dati climatici (dal 1992 al 2022) raccolti dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) mostrano una piovosità media annua di 966 mm e una temperatura di 13,7 °C (con la media di temperature massime e minime rispettivamente di 19,1 °C e 8,9 °C). L'area sperimentale si estende per circa 5 ha (Fig. 1). Il layout sperimentale comprende 8 parcelle (da 0,3 a 0,9 ha). Le variabili allo studio sono: i) due regimi di irrigazione: irrigazione a goccia (I) vs. no irrigazione (R); ii) due tipi di fertilizzazione organica: compost da scarti di potatura (C) vs. digestato da digestione anaerobica di letame (D); iii) presenza (CC-F - *X triticosecale*) o assenza (No CC) di *cover crop* durante il periodo invernale. Le proprietà idrologiche del suolo (0-40 cm) mostrano una densità apparente di 1,25 Mg m⁻³, una capacità di campo del 27,7% (v/v) e un punto di appassimento dell'8,5% (v/v).

Nei 2 anni di sperimentazione, la soia è stata: i) seminata il 9 maggio 2020 e raccolta il 19 ottobre 2020 (Pioneer P21T45); ii) seminata l'11 maggio 2022 e raccolta il 7 ottobre 2022 (Pioneer P18A02). Il fertilizzante organico (insieme alla biomassa delle infestanti o della *cover crop*) è stato incorporato nel terreno con l'aratura (30 cm di profondità), seguita da una erpicatura per la preparazione del letto di semina. Durante il ciclo produttivo della soia il controllo delle infestanti è stato eseguito chimicamente. Il contenuto in sostanza secca e carbonio organico del compost e del digestato utilizzati per fertilizzare la soia sono riportati in Tabella 1, mentre la gestione dell'irrigazione (gestita tramite IRRIFRAME) nella Tabella 2. La semina della *cover crop* è stata effettuata su sodo alla fine del ciclo della soia impiegando una dose di semina di circa 200 kg ha⁻¹ di triticale (var. Titania).

Alla raccolta, si è proceduto al campionamento della soia in un'area di 4 m² in tre punti per ogni appezzamento rilevando la biomassa aerea totale e la produzione in granella. Il contenuto di sostanza secca per entrambe le frazioni è stato determinato in un forno termoventilato a 65 °C. Il contenuto in olio e proteine della granella di soia è stato determinato attraverso la tecnologia NIRS (Infratec-1241, Foss Analytical, Hillerød, Danimarca).

Dopo aver determinato la resa in granella e biomassa aerea, si è calcolato l'Harvest Index (HI) utilizzando la seguente formula:

$$HI = \frac{\text{Resa in granella}}{(\text{Resa in granella} + \text{Biomassa aerea})}$$

L'efficienza d'uso dell'acqua (WUE) è stata calcolata impiegando la seguente formula:

$$WUE (kg\ mm^{-1}) = \frac{\text{Resa in granella}}{(\text{Pioggia} + \text{Irrigazione})}$$

I dati meteorologici sono stati scaricati dalla stazione ARPAV di Noventa di Piave, distante circa 5 km dal sito sperimentale.

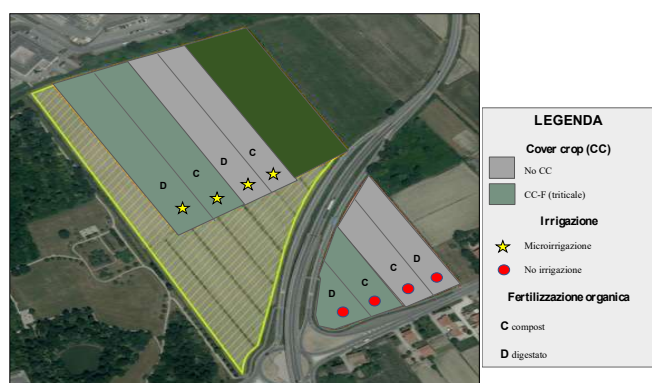


Fig.1 – Vista aerea del sito sperimentale e della disposizione delle variabili allo studio

Fig.1 – Layout of the experimental site

Tab.1 – Composizione del compost e del digestato utilizzati in ognuno dei due anni di sperimentazione.

Tab.1 – Composition of compost and digestate in each experimental year.

Anno	Fertilizzante	Sostanza secca (%)	Carbonio organico (%oss)
2020	Compost	71,0	29,0
	Digestato	23,1	52,8
2022	Compost	55,4	31,0
	Digestato	20,2	52,8

Tab.2 – Numero di interventi e volume irriguo stagionale applicato nei due anni di sperimentazione.

Tab.2 – Number of drip irrigation events and total amount of water applied (mm) in each experimental year.

Anno	Numero di interventi irrigui	Volume irriguo (mm)
2020	3	51
2022	20	157

L'analisi statistica dei dati è stata eseguita tramite il programma StatPlus utilizzando l'analisi della varianza (ANOVA). La significatività delle differenze tra i valori medi dei trattamenti è stata valutata utilizzando il test HSD di Tukey ($p < 0,05$).

Risultati

Nei due anni di studio: i) la piovosità invernale ha permesso di raggiungere i valori di capacità di campo nello strato interessato dalla crescita radicale (10-60 cm); ii) la piovosità nel periodo maggio-settembre è stata significativamente differente (523 mm nel 2020 e 269 mm nel 2022) mentre simili sono stati i valori di ET₀ (585 mm e 601 mm rispettivamente nel 2020 e nel 2022). Nel 2020 la microirrigazione non ha avuto effetto significativo sulla resa in granella (in media 4,6 Mg ha⁻¹), mentre nel 2022 ha avuto un ruolo chiave, incrementando del 157% la resa rispetto al testimone non irrigato che ha prodotto 1.0 Mg ha⁻¹ di granella (Fig. 2). Considerando i dati produttivi dei due trattamenti per entrambi gli anni, la resa in granella risulta fortemente correlata alla disponibilità idrica (Fig. 3).

L'utilizzo di digestato ha aumentato la produzione media di biomassa aerea (+17,3%) rispetto al compost (3 Mg ha⁻¹), ma non ha influenzato la resa in granella. Con riferimento alle caratteristiche qualitative della granella, solo il fattore anno ha mostrato un effetto significativo con un maggior contenuto proteico nel 2020 rispetto al 2022 e un andamento opposto per il contenuto in olio (Tab. 3).

L'HI è stato significativamente maggiore nell'anno più piovoso (2020), senza differenza tra i due trattamenti irrigui (in media 0,59). Nel 2022, invece, i valori di HI sono stati inferiori con un valore significativamente maggiore nella tesi con irrigazione (0,41) rispetto alla tesi senza irrigazione (0,28).

L'efficienza d'uso dell'acqua è stata significativamente influenzata dall'interazione anno×irrigazione. I valori maggiori sono stati ottenuti nell'anno più piovoso senza differenze significative tra i trattamenti irrigato e non irrigato.

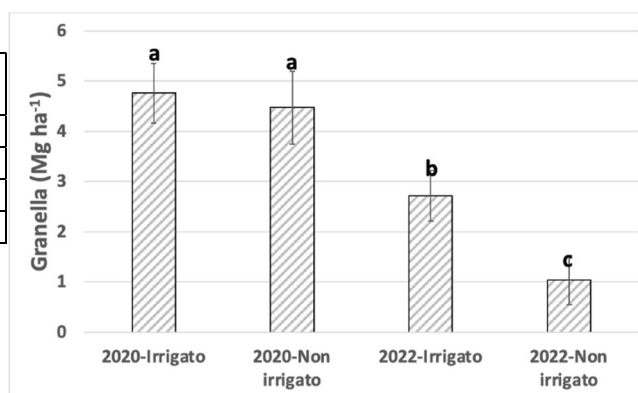


Fig.2 – Resa in granella con le due gestioni irrigue nei due anni allo studio. Lettere differenti indicano differenze significative (Tukey HSD test, $p < 0,05$).

Fig.2 – Grain yield of the two irrigation management in the two experimental years. Different letters indicate significant differences (Tukey HSD test, $p < 0,05$).

Nell'anno meno piovoso (2022) l'irrigazione ha aumentato del 62,5% l'efficienza d'uso dell'acqua rispetto al trattamento non irrigato (Fig. 4).

Tab.3 – Contenuto in olio e proteina della granella in ognuno dei due anni di sperimentazione. Lettere differenti indicano differenze significative (Tukey HSD test, $p < 0,05$).

Tab.3 – Gain oil and protein content in each experimental year. Different letters indicate significant differences (Tukey HSD test, $p < 0,05$).

Anno	Contenuto in olio (%)	Contenuto in proteina (%)
2020	21,8 ± 0,2 b	43,1 ± 0,6 a
2022	22,1 ± 1,0 a	42,6 ± 1,5 b

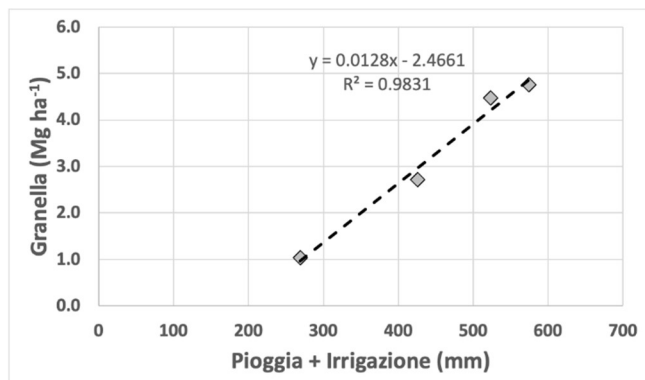


Fig.3 – Correlazione tra disponibilità idrica e resa in granella.

Fig.3 – Correlation among water availability and grain yield.

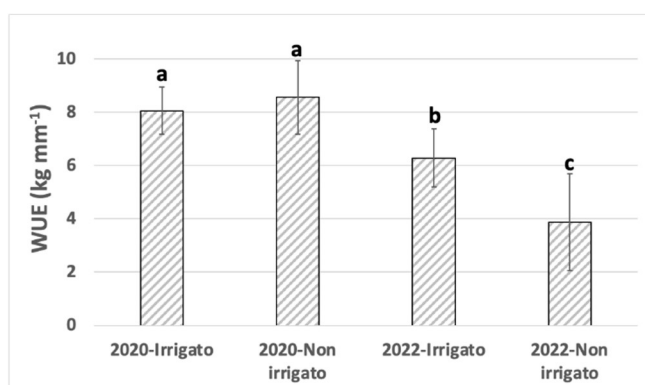


Fig.4 – Efficienza d'uso dell'acqua nei due anni di studio con e senza irrigazione. Lettere differenti indicano differenze significative (Tukey HSD test, $p < 0,05$).

Fig.4 – Water use efficiency in the two study years with and without irrigation. Different letters indicate significant differences (Tukey HSD test, $p < 0,05$).

Discussione

L'irrigazione ha aumentato la resa in granella solo nell'anno meno piovoso indicando la necessità di prevedere una possibile irrigazione in relazione al decorso pluviometrico dell'anno. Ciò conferma quanto riportato in uno studio condotto da Ray *et al.* (2015) per stimare a livello globale il contributo delle condizioni meteorologiche sulla variabilità delle produzioni delle principali colture erbacee estensive. Gli autori riportano che le condizioni meteorologiche hanno un'influenza significativa sulla resa di soia nel 67% delle

regioni in cui viene coltivata. Una correlazione positiva tra resa in granella e disponibilità idrica durante le fasi di fioritura e riempimento della granella è stata osservata da Sobko *et al.* (2020). Gli autori hanno inoltre osservato: i) una correlazione negativa tra il contenuto di olio e proteine nella granella e ii) un maggior contenuto proteico durante gli anni con temperature inferiori. I risultati sul contenuto in olio e proteine della granella ottenuti nel presente studio sono in accordo con Sobko *et al.* (2020). Sono invece in disaccordo con Rotundo e Westgate (2009) che attraverso una meta-analisi hanno concluso che lo stress idrico riduce, nella granella di soia, sia il contenuto in proteine che in olio.

Gli effetti positivi dell'irrigazione sulla resa in granella vanno però considerati anche in termini dei costi legati all'irrigazione al fine di determinarne la sostenibilità complessiva e sul lungo termine. La sostenibilità dell'irrigazione dipende certamente dalla quantità di precipitazioni stagionali e deve essere valutata di conseguenza (Karges *et al.*, 2022). In considerazione di ciò, l'impiego della micro-irrigazione va valutato con attenzione. Questo sistema irriguo presenta infatti annualmente costi fissi iniziali (acquisto ed installazione delle ali gocciolanti) che potrebbero essere non giustificati negli anni con buon andamento pluviometrico. Considerando però che l'irrigazione è una tecnica agronomica irrinunciabile per la stabilizzazione delle rese, potrebbe venire sostituito con sistemi irrigui più versatili (es. irrigatore semovente ad aspo).

Conclusioni

I risultati confermano come l'irrigazione sia una tecnica agronomica di fondamentale importanza per ridurre la variabilità produttiva e la vulnerabilità della soia alla siccità.

Bibliografia

- Blair, Faulkner, Till, Korschens, Schulz, (2006b). Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: Part II: Bad Lauchstadt static and extreme FYM experiments. *Soil and Tillage Research*, 91(1-2):39-47.
- Blair, Faulkner, Till, Poulton, (2006a). Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: Part I: Broadbalk experiment. *Soil and Tillage Research*, 91(1-2):30-38.
- Cooper, Burton, Daniell, Griffiths, Zebarth, (2011). Carbon mineralization kinetics and soil biological characteristics as influenced by manure addition in soil incubated at a range of temperatures. *European Journal of Soil Biology*, 47(6):392-399.
- Jian, Du, Reiter, Stewart, (2020). A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping. *Soil Biology and Biochemistry*, 143:107735.
- Karges, Bellingrath-Kimura, Watson, Stoddard, Halwani, Reckling, (2022). Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe. *European Journal of Agronomy*, 133:126415.
- Konapala, Mishra, Wada, Mann, (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. *Nature communications*, 11(1):3044.
- Lal, (2020). Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112(5):3265-3277.
- Lamm, F. R. (2002, December). Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. In *International Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation*, Puerto de La Cruz, Tenerife, Canary Islands (pp. 1-13).
- Li, Li, Li, Li, Yuan, Li, (2017). Effect of different organic fertilizers application on soil organic matter properties. *Compost Science & Utilization*, 25(sup1):S31-S36.
- Liu, Zhang, Feng, Tian, (2020). Toward a “green revolution” for soybean. *Molecular plant*, 13(5):688-697.
- McClelland, Paustian, Schipanski, (2021). Management of cover crops in temperate climates influences soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Ecological Applications*, 31(3):e02278.
- Milly, Dunne, Vecchia, (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(7066):347-350.
- Oki, Kanae, (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *science*, 313(5790):1068-1072.
- Ray, Gerber, MacDonald, West, (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature communications*, 6(1):5989.
- Rotundo, Westgate, (2009). Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research*, 110(2):147-156.
- Sobko, Stahl, Hahn, Zikeli, Claupein, Gruber, (2020). Environmental effects on soybean (*Glycine max* (L.) Merr) production in central and South Germany. *Agronomy*, 10(12):1847.
- Thapa, Mirsky, Tully, (2018). Cover crops reduce nitrate leaching in agroecosystems: A global meta-analysis. *Journal of environmental quality*, 47(6):1400-1411.
- Wisser, D., Frohking, S., Douglas, E. M., Fekete, B. M., Vörösmarty, C. J., & Schumann, A. H. (2008). Global irrigation water demand: Variability and uncertainties arising from agricultural and climate data sets. *Geophysical Research Letters*, 35(24).
- Wooliver, Jagadamma, (2023). Response of soil organic carbon fractions to cover cropping: A meta-analysis of agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 351:108497.

IRRIGAZIONE DEFICITARIA DEL POMODORO DA INDUSTRIA NELL'AREALE VENETO: PRIMI RISULTATI

DEFICIT IRRIGATION OF PROCESSING TOMATO IN VENETO REGION: FIRST RESULTS

Francesco Morbidini, Silvia Locatelli*, Jenny Shrestha, Carlo Nicoletto, Carmelo Maucieri

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e Ambiente — DAFNAE, Università di Padova, Campus di Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 – Legnaro (PD). *silvia.locatelli@unipd.it

Abstract

The processing tomato is a globally widespread and high water-demanding crop. Climate change with the following water availability reduction and population growth with the following water demand increase make it necessary to reshape irrigation management to increase its efficiency. In addition, it is needed to reduce the use of chemical fertilizers to diminish the environmental impact. Therefore, an experiment was conducted on processing tomato to evaluate two irrigation levels based on crop evapotranspiration (ET_c) (75% ET_c and 100% ET_c) and four fertilization management (unfertilized; chemical fertilization; not sieved compost; sieved compost < 2 mm). The obtained results showed higher transpiration level (+17.7%) and lower values of fluorescence and SPAD (-2.6% and -3.5% respectively) in the 100% ET_c treatment compared with 75% ET_c. The crop yield was not significantly affected by the experimental treatments. The irrigation level of 75% ET_c significantly reduced the fruits soluble solids content whereas no significant effect was observed on the fruits juice electrical conductivity. Although further experimentations are needed to confirm in the next years the obtained results, these latter indicate that deficit irrigation and organic fertilization are efficient measures to maintain high yields while limiting environmental impact.

Parole chiave

Irrigazione deficitaria, Concimazione organica, Pomodoro da industria, Resa, Qualità dei frutti

Keywords

Deficit irrigation, Organic fertilization, Processing tomato, Yield, Fruit quality

Introduzione

Garantire la produzione di cibo è una delle sfide maggiori che l'agricoltura si trova ad affrontare in un contesto di cambiamento climatico con aumento delle temperature, riduzione delle risorse idriche disponibili e contemporanea crescita demografica mondiale (Hanjra and Qureshi, 2010; Wheeler and von Braun, 2013). A livello globale i terreni irrigui rappresentano il 20% della superficie coltivata, ma garantiscono il 40% della produzione (Molden et al., 2010; FAO, 2014). Da ciò emerge che l'irrigazione è una tecnica agronomica fondamentale per raggiungere rese elevate (Ahmad et al., 2021) e garantire sufficiente produzione di cibo nei prossimi decenni. Però, tenuto in considerazione che il settore agricolo da solo è responsabile di circa il 70% dei prelievi totali di acqua dolce (Massari et al., 2021), in presenza di carenza idrica, ad esso è richiesto uno degli sforzi maggiori per ridurre i volumi impiegati. Si rende necessaria quindi una migliore gestione della risorsa idrica per evitare una riduzione delle superfici irrigabili.

Il pomodoro, a livello globale, è coltivato su più di 5 milioni di ettari con una produttività di 36 Mg ha⁻¹ (FAOSTAT, 2021). È una delle colture più idroesigenti (Khapte et al., 2019) per cui la carenza idrica è il principale ostacolo alla sua produzione (Nangare et al., 2016). Per questo motivo, risulta necessario adottare delle strategie che aiutino a ridurre i volumi irrigui senza però compromettere la resa (Nangare

et al., 2016) andando quindi ad incrementare l'efficienza d'uso dell'acqua (WUE) (Khapte et al., 2019).

Le principali modalità per incrementare la WUE sono due e possono essere adottate anche contemporaneamente. La prima fa riferimento all'utilizzo di cultivar resistenti alla siccità che però non hanno ad oggi trovato un largo impiego in quanto di difficile selezione genetica. La seconda, invece, riguarda l'adozione di un'irrigazione più efficiente basata sia sull'utilizzo di sistemi di irrigazione a goccia, che permettono di ridurre il ruscellamento superficiale e le perdite per evaporazione (Khapte et al., 2019) che l'impiego di irrigazione deficitaria (DI) (Patanè et al., 2011).

La DI è una strategia di risparmio idrico che consiste nella somministrazione di un volume irriguo ridotto rispetto a quello necessario per soddisfare l'evapotraspirazione massima della coltura. Questa pratica riduce significativamente i volumi irrigui apportati, ma l'incremento della WUE si ha solo se la perdita di resa risulta non essere eccessiva. È per questo motivo che risulta molto importante conoscere il livello di stress da poter applicare e il comportamento della coltura nei diversi stadi di crescita (Costa et al., 2007; Patanè et al., 2011; Khapte et al., 2019; García-Vila et al., 2009). Oltre alla tempistica e alla fase in cui viene imposto lo stress, anche l'intensità di quest'ultimo influenza la WUE (Wang et al., 2011). Infatti, l'applicazione di un giusto livello di stress, oltre che ad un incremento della WUE dovuto ad una riduzione minima di resa determina un

miglioramento della qualità dei frutti (Patanè and Cosentino, 2010).

La produttività delle colture non è solo influenzata dall'acqua, ma anche dalla disponibilità di nutrienti (Wang and Xing, 2017). Tuttavia, un eccessivo utilizzo di fertilizzanti di sintesi ha determinato impatti negativi quali una progressiva diminuzione della sostanza organica nei terreni, un aumento della loro acidità, un peggioramento delle loro proprietà fisiche con una riduzione della capacità di ritenzione idrica, un aumento del *runoff* e dei fenomeni di erosione (Chandini et al., 2019). In questo contesto, va inoltre considerato che il regolamento UE 2019/1009 mira a promuovere l'implementazione dell'economia circolare promuovendo sul mercato interno i concimi derivati da materiali riciclati favorendo una progressiva sostituzione di quelli inorganici, così da ridurre in maniera quantitativa gli scarti a favore del riciclo.

Alla luce di quanto detto, l'obiettivo di questo studio è stato quello di valutare la risposta quali-quantitativa del pomodoro da industria gestito per tutto il ciclo colturale con due restituzioni idriche in combinazione con differenti gestioni della concimazione.

Materiali e Metodi

Lo studio è stato condotto in una serra-tunnel nel periodo giugno-settembre 2022 presso l'azienda agraria sperimentale "L. Toniolo" dell'Università di Padova (45°21'00" N, 11°57'02" E; 7 m. s.l.m). Il clima della zona è di tipo subumido e la temperatura media annua è di 13,5 °C. La precipitazione media annua (1994-2021) è di 830 mm, ma l'evapotraspirazione di solito supera le precipitazioni da aprile a settembre mediamente di circa 260 mm (Berti et al., 2014). Il suolo è classificato come Fluvi-Calcaric Cambisol (CMcf) con tessitura franco limosa (IUSS Working Group WRB, 2014), capacità di campo e punto di appassimento rispettivamente pari al 34% (v/v) e 13,5% (v/v), bulk density di 1,45 Mg m⁻³ e pH sub-alcalino (circa 8).

Per quanto riguarda le operazioni colturali: sono state effettuate due lavorazioni del terreno con zappatrice rotativa, tra le due lavorazioni è stata eseguita la concimazione, successivamente è stato installato l'impianto di micro-irrigazione ed è stato effettuato il trapianto. Quest'ultimo è avvenuto in data 14 giugno 2022 con densità di impianto pari a 2,5 piante m⁻². Il quantitativo di acqua da dover applicare con l'impianto di micro-irrigazione è stato determinato tramite l'utilizzo di sonde che misuravano l'umidità del terreno a tre diverse profondità (20 cm, 40 cm e 60 cm). L'irrigazione è stata eseguita al raggiungimento del punto critico colturale riportando il valore di umidità del terreno alla capacità idrica di campo. Tramite contaltri è stato misurato il volume irriguo stagionale. Dal 28 giugno al 6 settembre 2022, con cadenza settimanale, sono stati monitorati in 6 piante per parcella i principali parametri morfologici (altezza delle piante, diametro del fusto, numero delle foglie, presenza di fiori e frutti visibili, numero delle bacche mature) e fisiologici (traspirazione, conduttanza stomatica, fluorescenza della clorofilla). Il monitoraggio dei parametri fisiologici è stato effettuato con un porometro-

fluometro (Licor 600) in quattro diverse fasce orarie (06:00, 12:00, 18:00, 00:00). Inoltre, tramite l'utilizzo dello SPAD (alle ore 12:00) è stato misurato il contenuto di clorofilla. In data 13 settembre 2022 è stato effettuato un rilievo per la valutazione qualitativa delle bacche determinando il contenuto in sostanza secca (tramite essiccazione in stufa a 65 °C) e di solidi solubili (°Brix), la conducibilità elettrica e il pH della bacca. Il rilievo quantitativo per determinare la resa è stato invece eseguito il 27 settembre 2022.

Il disegno sperimentale adottato è stato uno split-plot con l'irrigazione come trattamento principale (parcellone 45 m x 4 m) (100% dell'evapotraspirazione colturale (ETc) vs. 75% ETc) e la fertilizzazione come trattamento secondario (parcelle 7.5 m x 4 m) (no concimazione, fertilizzazione minerale, compost tal quale e compost frazionato < 2mm). Il quantitativo di fertilizzanti è stato apportato per fornire alla coltura 150 kg N ha⁻¹, 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 200 kg K₂O ha⁻¹. Le caratteristiche del compost impiegato per la sperimentazione sono riportate in tabella 1.

Tab. 1- Caratteristiche chimiche del compost utilizzato.

Tab. 1- Chemical properties of compost used.

Elemento	Contenuto
N totale	1.99 %
C totale	22.41 %
P	6373 mg kg ⁻¹
K	26549 mg kg ⁻¹
Cd	0.74 mg kg ⁻¹
Cr	36.96 mg kg ⁻¹
Cu	104.64 mg kg ⁻¹
Pb	37.37 mg kg ⁻¹
Zn	247.55 mg kg ⁻¹

L'analisi statistica dei dati è stata effettuata con Statgraphics 19 centurion (Statgraphics Technologies, Inc). La significatività dei fattori allo studio è stata valutata attraverso l'analisi della varianza (ANOVA) a due vie. Nel caso di effetto significativo, le medie sono state separate attraverso il test HSD di Tukey con $p \leq 0.05$.

Risultati e Discussione

Il quantitativo di acqua somministrata durante la stagione colturale è stato di circa 16 m³ per il parcellone gestito al 100% ETc e di 12 m³ per il parcellone gestito al 75% ETc.

Parametri morfologici

Per quanto riguarda l'altezza delle piante, l'irrigazione non ha portato a delle differenze statisticamente significative ad eccezione del 35° GDT (giorno dopo il trapianto) durante il quale è stato misurato un valore significativamente superiore nel trattamento 100% ETc. Ad ogni misurazione invece è stata registrata una differenza statisticamente significativa tra il trattamento non concimato e il compost tal quale (Fig. 1).

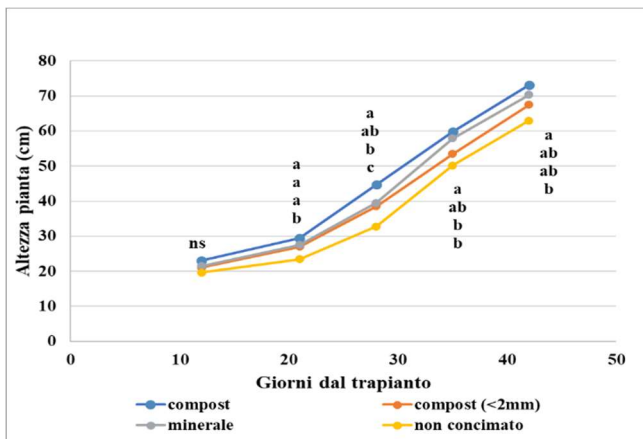


Fig.1 - Andamento dell'altezza delle piante di pomodoro. Lettere differenti indicano differenze significative tra i trattamenti ($p\text{-value}<0,05$).

Fig.1 - Trends in the tomato plants' height. Different letters indicate significant differences between treatments ($p\text{-value}<0,05$).

Per il diametro del fusto, al 35°, 42° e 56° GDT valori significativamente più elevati sono stati monitorati per la tesi 100% ETc rispetto a quella 75% ETc (Fig. 2). Con riferimento alle diverse tipologie di fertilizzazione, è stato osservato un diametro maggiore nel trattamento con compost tal quale rispetto a tutti gli altri trattamenti. L'interazione tra concimazione e irrigazione non ha determinato effetti significativi.

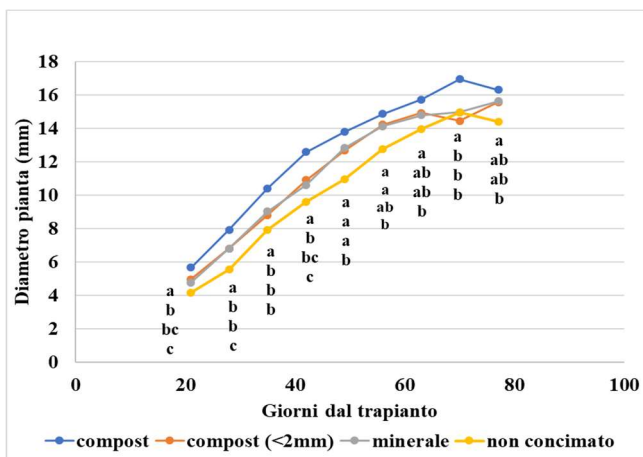


Fig.2 - Andamento del diametro delle piante di pomodoro. Lettere differenti indicano differenze significative tra i trattamenti ($p\text{-value}<0,05$).

Fig.2 - Trends in the tomato plants' diameter. Different letters indicate significant differences between treatments ($p\text{-value}<0,05$).

Parametri fisiologici

La traspirazione delle piante sottoposte ad irrigazione deficitaria è risultata essere significativamente inferiore rispetto a quelle irrigate con piena restituzione idrica ad eccezione del rilievo eseguito alle 06:00 (Tab. 2). Per quanto riguarda la concimazione, invece, non sono state osservate delle differenze tra i diversi trattamenti se non nel rilievo

eseguito alle 12:00 nel quale il trattamento con fertilizzazione minerale ha fatto registrare un valore significativamente più elevato (+12.5%) rispetto al compost frazionato ($7.4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). L'interazione tra i due fattori non ha avuto un effetto significativo.

Tab.2 - Valori di traspirazione ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) nelle diverse fasce orarie per i due livelli di irrigazione nella media del ciclo colturale. Lettere differenti indicano differenze significative tra i trattamenti ($p\text{-value}<0,05$).

Tab.2 - Transpiration values ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) at different time slots for the two irrigation levels, on the average of growing season. Different letters indicate significant differences between treatments ($p\text{-value}<0,05$).

Irrigazione	Fascia oraria				Media giornaliera
	06:00	12:00	18:00	00:00	
75% ETc	1,3	7,3 b	6,3 b	0,5 b	3,8 b
100% ETc	1,3	8,5 a	7,8 a	0,6 a	4,5 a

Su base giornaliera, la conduttanza stomatica non è stata significativamente differente tra i due livelli irrigui. Con riferimento alle singole fasce orarie, invece, sono state osservate delle differenze significative per le misurazioni effettuate alle 06:00 e alle 00:00. In entrambi gli orari, il trattamento 100% ETc ha mostrato un valore più elevato (+18% alle 06:00 e +33% alle 00:00) rispetto al trattamento 75% ETc. In merito alla concimazione sono state registrate differenze significative sia nella media giornaliera che nelle misurazioni effettuate alle 12:00, alle 18:00 e alle 00:00. La fertilizzazione con compost, indipendentemente dalla granulometria, ha determinato un valore inferiore di conduttanza stomatica rispetto alle altre tesi di fertilizzazione sia su base giornaliera che per le singole fasce orarie. Nessuna interazione è stata osservata tra i due fattori allo studio.

Il valore medio giornaliero della fluorescenza è risultato significativamente più elevato del 3% nel trattamento 75% ETc rispetto al trattamento 100% ETc (Tab. 3). Considerando i rilievi su base oraria (Tab. 3), un valore più elevato per il trattamento 75% ETc rispetto al trattamento 100% ETc è stato osservato per i rilievi effettuati alle 06:00 e alle 18:00. La fertilizzazione non ha mostrato effetti significativi tranne che per il valore di fluorescenza misurato alle 06:00 quando il trattamento non concimato (0,80) ha mostrato valori più elevati dello 0,5% rispetto al trattamento con compost tal quale. Nessuna interazione è stata osservata tra i due fattori.

Tab. 3- Valori di fluorescenza (PhiPS2) nelle diverse fasce orarie dei due livelli di irrigazione. Lettere differenti indicano differenze significative tra i trattamenti ($p\text{-value}<0,05$).

Tab.3 - Fluorescence values (PhiPS2) at different time slots of the two irrigation levels. Different letters indicate significant differences between treatments ($p\text{-value}<0.05$).

Irrigazione	Fascia oraria				Media giornaliera
	06:00	12:00	18:00	00:00	
75% ETc	0,81 a	0,70	0,74 a	0,81	0,76 a
100% ETc	0,80 b	0,70	0,68 b	0,81	0,74 b

Il contenuto di clorofilla valutato come indice SPAD è risultato, nella media del ciclo colturale, significativamente più elevato (+3,4%) nel trattamento 75% ETc rispetto al trattamento 100% ETc (54,8). Questo risultato conferma quanto riportato da Nemeskéri et al. (2019) i quali hanno osservato dei valori più elevati di indice SPAD nelle piante non soggette ad irrigazione. Nessun effetto significativo è stato riscontrato, nella media del ciclo colturale, in risposta al tipo di fertilizzazione e all'interazione dei trattamenti irrigazione x concimazione.

Resa

La resa in bacche non è stata significativamente influenzata né dai singoli trattamenti, né dalla loro interazione mostrando una resa media di 48.6 Mg ha⁻¹. Risultati analoghi sono stati ottenuti da Patané et al. (2011) i quali con un risparmio idrico di circa il 30% e il 46% non hanno registrato differenze significative di resa.

Analisi qualitative

Il contenuto in sostanza secca delle bacche non è stato significativamente differente tra i trattamenti allo studio con un valore medio di 4,8%.

La gestione irrigua delle piante ha significativamente influenzato il contenuto di solidi solubili delle bacche. Mediamente, le tesi irrigate al 100% dell'ETc hanno presentato un quantitativo maggiore (+3,4%) di solidi solubili ad eccezione della tesi non concimata in cui la differenza è stata del 12,9%. La fertilizzazione e l'interazione fertilizzazione x irrigazione non hanno avuto un effetto significativo. A riguardo, tuttavia, risultati opposti sono stati ottenuti da Birhanu and Tilahun (2010), Patané et al. (2011) e Agbemafle et al. (2014).

Il pH della bacca è stato significativamente influenzato solo dal trattamento irriguo con valori significativamente maggiori nel trattamento 100% ETc (4,25) rispetto a 75% ETc (4,20).

La conducibilità elettrica del succo della bacca non ha mostrato differenze significative tra i livelli irrigui. Per la fertilizzazione, invece, il compost ha determinato un valore significativamente più elevato (+8,6%) rispetto al trattamento non concimato, in accordo con quanto riportato da Azarmi et al. (2008) in cui l'utilizzo di fertilizzante organico ha portato ad un aumento della conducibilità

elettrica. L'interazione dei trattamenti irrigazione x concimazione non ha mostrato effetti significativi.

Conclusioni

L'applicazione di un'irrigazione deficitaria ha determinato la variazione di alcuni parametri fisiologici della coltura, riducendo la capacità fotosintetica. Nonostante questo, non sono state osservate delle differenze in termini di resa. Un effetto significativo è stato invece osservato su alcuni aspetti qualitativi della bacca. La concimazione con compost ha avuto un comportamento analogo al fertilizzante di sintesi sia in termini di sviluppo della pianta che di produzione rappresentando quindi una valida alternativa. Sebbene ulteriori sperimentazioni siano necessarie per confermare nei prossimi anni i risultati ottenuti, questi ultimi indicano che l'irrigazione deficitaria e la concimazione organica sono misure efficaci per mantenere alte le rese limitando l'impatto ambientale.

Ringraziamenti

La sperimentazione è stata condotta all'interno del progetto "Deficit irrigation del pomodoro da industria nell'areale veneto" (prot. BIRD 227047) finanziato dall'Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e Ambiente (DAFNAE).

Bibliografia

- Agbemafle, Owusu-Sekyere, Bart-Plange, Otchere, (2014). Effect of deficit irrigation and storage on physicochemical quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill. var. pechtoech). Food Science and Quality Management, 34: 113-120.
- Ahmad, Alvino, Marino, (2021). A review of crop water stress assessment using remote sensing. Remote Sensing, 13(20): 4155.
- Azarmi, Ziveh, Satari (2008). Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato (*Lycopersicum esculentum*). Pakistan journal of biological sciences, 11(14): 1797-1802.
- Berti, Tardivo, Chiaudani, Rech, Borin, (2014). Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. Agriculture Water Management, 140: 20-5.
- Birhanu, Tilahun, (2010). Fruit yield and quality of drip-irrigated tomato under deficit irrigation. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 10(2): 2139-2151.
- Chandini, Kumar, Prakash, (2019). The impact of chemical fertilizers on our environment and ecosystem. Research Trends in Environmental Science, pp. 69-86
- Costa, Ortuño, Chaves, (2007). Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. Journal of integrative plant biology, 49(10): 1421-1434.
- FAO, (2014). Climate Change and Food Security: a Framework Document. FAO, Rome.
- García-Vila, Fereres, Mateos, Orgaz, Steduto, (2009). Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. Agronomy journal, 101(3): 477-487.
- Hanjra, Qureshi, (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. Food Policy, 35: 365–377.
- IUSS Working Group, (2014). World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.
- Khapte, Kumar, Burman, Kumar, (2019). Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. Scientia Horticulturae, 248: 256-264.
- Mehdizadeh, Darbandi, Naseri-Rad, Tobeh, (2013). Growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as influenced by different organic fertilizers. International journal of Agronomy and plant production, 4(4): 734-738.
- Molden, Oweis, Steduto, Bindraban, Hanjra, Kijne, (2010). Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. Agriculture Water Management, 97: 528–535.
- Nangare, Singh, Kumar, Minhas, (2016). Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. Agriculture Water Management, 171: 73-79.
- Nemeskéri, Neményi, Böcs, Pék, Helyes, (2019). Physiological factors and their relationship with the productivity of processing tomato under different water supplies. Water, 11(3): 586.
- Patanè, Cosentino, (2010). Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. Agriculture Water Management, 97: 131–138.
- Patanè, Tringali, Sortino, (2011). Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. Scientia Horticulturae, 129(4): 590-596.
- Wang, Kang, Du, Li, Qiu, (2011). Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. Agriculture Water Management, 98: 1228–1238.
- Wang, Xing, (2017). Evaluation of the effects of irrigation and fertilization on tomato fruit yield and quality: a principal component analysis. Scientific reports, 7(1): 350.
- Wheeler, von Braun, (2013). Climate change impacts on global food security. Science 341: 508–513.

METODOLOGIE PER IL MONITORAGGIO FENOLOGICO IN ITALIA: UNA INDAGINE PRELIMINARE PRESSO I SERVIZI ED ENTI REGIONALI

METHODOLOGIES FOR PHENOLOGICAL MONITORING IN ITALY: A PRELIMINARY SURVEY WITHIN THE REGIONAL SERVICES

Chiara Epifani^{1*}, Pontrandolfi Antonella¹, Fausto Carbonari¹

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente
^{*} chiara.epifani@crea.gov.it

Abstract

The sequence of the phenological stages is genetically predetermined, while the speed with which the stages follow one another (rhythm of occurrence) is regulated by environmental factors and in particular the meteorological and hydrological ones (temperature, solar radiation, soil water content, etc.). Phenological monitoring in agriculture is useful to characterize the behaviour of plants, based on weather-climatic trends, and to identify throughout the development cycle the stages sensitive to weather events, that can determine losses in terms of quantity and quality of agricultural production. Given the importance of phenology in studying the impacts of weather in agriculture, primarily in a context of climate change, an analysis of phenological monitoring in Italy were carried out, with the aim of describing the state of the art, the main problems, but also the potentialities of the research and support activities on the phenological field. The study analyses some of the main results of a questionnaire submitted to the institutional regional services working on agrometeorological and phytosanitary monitoring, based on questions about the kind of data, methods of monitoring and data elaborations.

Parole chiave

Agrometeorologia, monitoraggio fenologico, Servizi agrometeorologici, Sistemi di Supporto alle Decisioni in agricoltura

Keywords

Agrometeorology, phenological monitoring, Agrometeorological services, Decision Support Systems in agriculture

Introduzione

La fenologia vegetale studia le fasi fenologiche delle piante basandosi su osservazioni di campo.

Il ciclo di vita di ogni vegetale è caratterizzato da una sequenza di fasi osservabili visivamente, dette fasi fenologiche, fra cui ad esempio il germogliamento, la comparsa delle foglie, la fioritura, lo sviluppo e la maturazione dei frutti, la caduta delle foglie. La sequenza delle fasi fenologiche è predeterminata geneticamente, mentre la velocità con cui le fasi si succedono (ritmo di accadimento) è regolata da fattori ambientali ed in particolare da quelli meteorologici e idrologici (temperatura, radiazione solare, contenuto idrico del suolo, ecc.). Dal punto di vista fisiologico, il processo di sviluppo è continuo, con passaggi graduali e sfumati senza soluzione di continuità. Da un punto di vista metodologico, per render confrontabili i dati, è necessario definire esattamente fasi e stadi fenologici (il periodo di tempo che trascorre tra due fasi fenologiche vicine). Inoltre, l'osservazione fenologia non è una *misura*, ma dipende dalle capacità di osservazione e dall'impegno del rilevatore, ed è quindi sempre soggetta ad un certo grado di imprecisione (Menzel, 2002).

La conoscenza dei dati fenologici è importante per la gestione delle tecniche colturali: ad esempio, alcuni interventi (trattamenti fitosanitari, concimazioni, diserbi, irrigazioni, ecc.) risultano efficaci solo se effettuati in corrispondenza di specifiche fasi. L'informazione contenuta nel dato fenologico è fondamentale per l'approfondimento e

caratterizzazione del comportamento di varietà e cultivar nel tempo e nello spazio, soprattutto in relazione a condizioni meteorologiche estreme: le piante, infatti, mostrano una sensibilità agli agenti esterni (gelate, ondate di caldo, grandine, attacchi di insetti e di patogeni, ecc.) diversa a seconda della fase fenologica in cui l'evento si verifica (Snyder and de Melo-abreu, 2005; Zinoni *et al.*, 2005). Inoltre, la previsione delle rese, l'analisi delle caratteristiche qualitative e quantitative del prodotto, l'accumulo di biomasse così come il monitoraggio dell'evoluzione nel tempo dei calendari colturali e fenologici per aree omogenee dal punto di vista meteo-climatico, utilizzano dati fenologici di input. Inoltre, il settore agricolo è chiamato a rispettare i principi di difesa integrata (Direttiva europea 2009/128/CE sull'uso sostenibile dei pesticidi) e le Regioni devono mettere a disposizione servizi di monitoraggio e di informazione come dati fenologici e meteorologici. Per questi motivi, la conoscenza dell'andamento e delle dinamiche del ciclo di sviluppo delle specie vegetali rappresenta un fabbisogno per le attività di assistenza tecnica che i Servizi/Enti regionali sono chiamati a fornire nell'ambito delle loro attività istituzionali.

Data l'importanza della fenologia, si è quindi ritenuto importante approfondire le modalità con cui si svolgono attività di monitoraggio fenologico in Italia, analizzandone i contenuti tecnici, metodologici, aspetti gestionali, limiti e prospettive anche in termini di ricerca e supporto tecnico. Dato il ruolo svolto dall'assistenza tecnica al mondo agricolo

prima descritto, si è partiti da una indagine presso i Servizi/Enti regionali, attraverso la somministrazione di un questionario. Per la sua predisposizione, nell'ambito delle attività del progetto Agrometeore della Rete rurale nazionale, è stato costituito un *focus group*¹ di esperti appartenenti al Tavolo di coordinamento nel settore dell'agrometeorologia.

Nel presente lavoro si riportano alcuni dei principali risultati del questionario relativi ad aspetti tecnici e metodologici di maggiore interesse per il settore scientifico dell'agrometeorologia.

Materiali e Metodi

Il questionario è uno strumento di raccolta delle informazioni composto da un insieme strutturato di domande e relative categorie di risposta definite a priori da chi lo costruisce, ovvero domande "chiuse" dove all'intervistato viene richiesto di individuare tra le risposte presentate quella che più si avvicina alla propria posizione, e/o domande "aperte" che non prevedono delle risposte predeterminate (Zammuner, 1996). È applicabile a qualsiasi oggetto di indagine o fenomeno sociale e permette la raccolta di informazioni di tipo qualitativo e quantitativo che possono essere successivamente rappresentate in maniera sintetica, permettendo l'analisi delle caratteristiche del fenomeno oggetto di indagine.

I vantaggi di una intervista strutturata sono: a) il tempo richiesto per ogni intervista è limitato e questo consente di interpellare un campione grande; b) le risposte sono tutte organizzate e dichiarate nella stessa forma, questo permette la raccolta di risultati standardizzati e un'analisi semplificata anche di tipo quantitativo. Gli svantaggi di un'intervista strutturata sono: a) l'intervistato può sentirsi frustrato dal non poter giustificare le proprie risposte b) le domande possono non essere comprese da tutti c) il notevole tempo richiesto dalla stesura del questionario (Merriam, 1998).

Il contributo del *focus group* si è concentrato sulla adeguatezza delle domande rispetto allo scopo della ricerca, eventuali difficoltà di interpretazione e sulla struttura del questionario.

Le domande sono raccolte in sezioni tematiche, come di seguito descritte:

Sezione 1 Introduzione: informazioni di base relative all'intervistato, al Servizio/Ente che rappresenta, richiesta di conferma o meno della effettiva realizzazione del monitoraggio fenologico tra le attività del Servizio/Ente;

Sezione 2 Difficoltà: nel caso in cui il Servizio/Ente non preveda attività di monitoraggio fenologico ha qui la possibilità di elencare i motivi, per poi passare alla Sezione 7;

Sezione 3 Rilievo fenologico: metodologie utilizzate per il rilievo del dato fenologico;

Sezione 4 Raccolta dati: metodologie di raccolta e archiviazione dei dati;

Sezione 5 Elaborazione dati: descrizione di quali elaborazioni sono effettuate sui dati fenologici;

Sezione 6 Diffusione: come le informazioni estratte dei dati fenologici sono restituite ai destinatari del servizio;

Sezione 7 Esigenze e prospettive: approfondimento degli aspetti tecnici che andrebbero implementati e analisi della efficacia del monitoraggio fenologico come strumento di supporto al settore dell'agrometeorologia.

Per la somministrazione del questionario è stata scelta la tecnica CAWI (*Computer Assisted Web Interviewing*; Istat, 2017) utilizzando il software Microsoft Forms di Office 365 per la realizzazione del questionario *online*.

Come premessa metodologica, si specifica che i risultati delle domande chiuse in cui è possibile selezionare una sola delle opzioni di risposta, sono riportati come numero delle opzioni selezionate sul totale dei rispondenti, i Servizi/Enti, descritti a volte anche come programmi di monitoraggio. Per la descrizione dei risultati delle domande chiuse multiple, vale a dire in cui è possibile selezionare più di una opzione, viene indicato solo il numero di selezioni date per ciascuna opzione (indicato come numero di risposte).

I dati utilizzati per le elaborazioni qui presentate sono estratti da alcune domande delle Sezioni 2, 3, 4, 5 e 7.

Risultati e Discussione

All'indagine hanno partecipato 15 Regioni, alcune di queste sono rappresentate da più di un Servizio/Ente regionale per cui il numero complessivo degli intervistati che ha compilato il questionario risulta pari a 19.

Il monitoraggio fenologico è effettuato da 16 Servizi/Enti, con altrettanti programmi di monitoraggio regionali, mentre 3 non lo effettuano a causa di mancanza di personale competente e in un caso anche a causa della difficoltà nel reperire le risorse economiche necessarie.

Il monitoraggio fenologico è effettuato prevalentemente su **piante coltivate**: in 12 casi in maniera esclusiva, in 3 sia su piante coltivate che spontanee e in un caso solo su piante spontanee (il Giardino fenologico di San Pietro Capofiume che collabora con dell'Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna).

In totale, sono state indicate 27 **colture** coltivate oggetto di monitoraggio e 36 colture spontanee. Tra quest'ultime vengono indicate: *Robinia pseudoacacia* L. (4 risposte) e *Castanea sativa* Mill. (1), incluse nel progetto *Italian Phenological Network* (IPHEN), 30 del Giardino fenologico di San Pietro Capofiume, il genere *Cupressus* L. e alcune specie invasive come il giacinto d'acqua e il senecio, tutte con una occorrenza.

Si evidenzia come tra le colture coltivate più rappresentate nei programmi di monitoraggio regionali ci siano vite (*Vitis*

¹ Il Focus group è costituito da: Chiara Epifani, Fausto Carbonari e Antonella Pontrandolfi (CREA, coordinamento); Camilla Nigro e Arturo Caponero dell'Agenzia lucana di sviluppo e di innovazione in agricoltura; Angela Calabrò dell'Azienda regionale per lo sviluppo dell'agricoltura calabrese; Luigi Neri del Servizio informativo agrometeorologico siciliano; Giuliano Fois e Ilaria Peana della Agenzia regionale per la protezione

dell'ambiente della Sardegna; Simona Federici del Centro di agrometeorologia applicata regionale della Liguria; Angela Sanchioni dell'Agenzia per l'innovazione nel settore agroalimentare e della pesca della Regione Marche; Gabriele Antolini dell'Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna.

vinifera L.) e olivo (*Olea europea* L.) (rispettivamente 13 e 12, sui 16 programmi di monitoraggio), seguite dalle colture cerealicole (6 risposte), dalle drupacee e dalle pomacee (5 rispettivamente) (Tab. 1).

Tab.1 – Specie coltivate su cui si effettua monitoraggio fenologico – Numero di Servizi/Enti che monitorano la coltura.

Tab.1 – Monitored crops – Number of monitoring regional programmes.

Coltura monitorata	n. Servizi/Enti
Vite	13
Olivo	12
Cerealicole ¹	6
Drupacee ²	5
Pomacee ³	7
Agrumi	3
Orticole ⁴	3
Oleaginose ⁵	2
Altro ⁶	2

¹avena, frumento duro, frumento tenero, mais, orzo, riso, sorgo

²albicocco, ciliegio, pesco, susino

³melo, pero

⁴carciofo, fragola, patata, pomodoro

⁵colza, girasole, soia

⁶actinidia, nocciolo

Nella maggior parte dei casi, le specie sono monitorate durante tutto il loro ciclo di sviluppo (10 programmi di monitoraggio su 16), i rimanenti effettuano il monitoraggio solo in alcune fasi di maggiore interesse (ad es., dal germogliamento alla fioritura).

La metodologia adoperata per il rilievo del dato è generalmente uniforme. La **scala fenologica** utilizzata nella totalità dei casi è la BBCH (16), insieme a questa sono adottate anche altre scale come la Baggiolini (3 risposte), la Fleckinger (2) e altre meno diffuse (con una sola occorrenza) per colture specifiche. La **cadenza temporale** dei rilievi è prevalentemente settimanale (12 risposte), in alcuni casi è ogni quindici giorni con aumento della frequenza in fasi di particolare interesse (3), mentre in uno è sempre quindicinale. La frequenza del monitoraggio è considerata adatta ai fini dell'attività in 14 casi su 16; al contrario, 2 dei quattro Servizi/Enti che monitorano anche ogni quindici giorni, la giudicano insoddisfacente.

In relazione alle specie coltivate, i criteri che guidano la **scelta dei siti di monitoraggio** tengono conto della vocazionalità dei territori per le singole colture (6 risposte), seguita dalla presenza di distretti agricoli (5) e dall'omogeneità meteorologica (4), ma sono condizionati anche da altri fattori, come la disponibilità di personale competente e di finanziamenti *ad hoc* (5). In ogni sito si monitorano prevalentemente tra le cinque e le dieci piante della stessa specie (8), in alcuni casi più di dieci (5) e solo in pochi casi meno di cinque (3). La **posizione dei siti** rimane stabile nel tempo solo in metà dei programmi (8): i motivi che ne determinano lo spostamento sono prevalentemente dovuti alla modifica della disponibilità di siti adatti al monitoraggio (5 risposte), ma anche alla naturale evoluzione delle specie vegetali presenti nel sito (morte/espanto/avvicendamento), alla riorganizzazione del

Servizio stesso e alla variazione nel tempo del numero di rilevatori disponibili. La densità di **distribuzione dei siti di monitoraggio** sul territorio sembra abbastanza soddisfacente: in 9 programmi su 16, il Servizio/Ente dispone di più di un sito di rilevamento per provincia, nei restanti casi dispone di un sito per provincia (3), oppure meno di uno (4). In ogni caso, solo la metà dei Servizi/Enti (8) dichiara che il numero dei siti di monitoraggio risulta sufficiente.

Le **serie storiche** nella metà dei casi sono più che decennali (in 8 programmi), comprese tra 5 e 10 anni (4) ma spesso non sono complete (9). Probabilmente, questo è il motivo per cui solo in un 2 casi i dati sono utilizzati per la realizzazione dei calendari fenologici.

I dati fenologici non sono sottoposti a **controlli di qualità** (13 programmi su 16), ma spesso sono comunque utilizzati per la correlazione con alcune grandezze meteorologiche (9 programmi su 16): temperatura dell'aria (9 risposte), precipitazione (7) e in alcuni casi anche umidità relativa e bagnatura fogliare (2).

Per quanto riguarda l'**elaborazione dei dati**, nella maggior parte dei programmi il dato fenologico rilevato in campo è un dato rappresentativo del sito di monitoraggio (11), ma a volte può essere rappresentativo della sola singola pianta osservata (5). In quest'ultimo caso, il codice BBCH associato descrive la fase fenologica più avanzata (4), solo in un caso quella prevalente. Per attribuire ad ogni sito un dato fenologico rappresentativo dell'area, si calcola la moda (5 risposte), la media (4) o la mediana (1) delle fasi fenologiche osservate. In quasi tutti i casi (13 su 16), al dato fenologico è associata anche una foto della fase fenologica registrata (11 "a volte", 2 "sempre").

Coerentemente con le attività principali dei Servi/Enti regionali che hanno partecipato all'indagine, le serie di dati fenologici sono utilizzati prevalentemente per attività di assistenza in materia di difesa da avversità biotiche ed abiotiche (10 risposte) e gestione delle tecniche colturali (7) (Fig. 1). Sono presenti anche attività di analisi, ad esempio la caratterizzazione del comportamento di varietà e cultivar nel tempo e nello spazio e sulle caratteristiche qualitative e quantitative del prodotto. Altre attività, meno legate alle missioni dei Servizi, sono la calibrazione/validazione di indici derivati dal *remote sensing*, il supporto al monitoraggio aerobiologico, studi sul cambiamento climatico e sull'andamento del ciclo di sviluppo nel tempo e nello spazio in relazione anche a condizioni meteorologiche estreme.

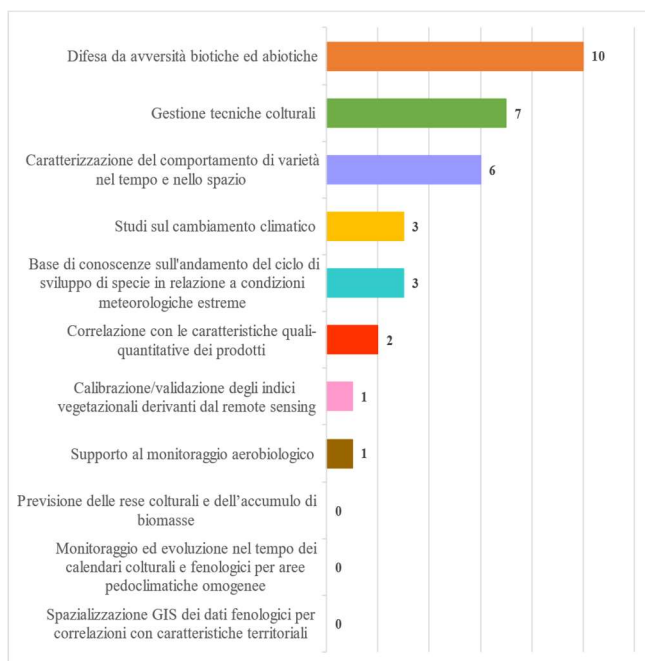


Fig.1 – Uso dei dati fenologici – Numero di risposte.
 Fig.1 – Use of phenological data – Numbers of answers

Come ulteriore elemento conoscitivo, si ritiene importante riportare anche alcune informazioni sui **rilevatori fenologici**, che senza dubbio incidono sulla ampiezza delle reti regionali di monitoraggio e condizionano a volte anche le modalità di raccolta del dato e la sua qualità. Il loro numero varia molto, da un minimo di 5 per l'intero territorio regionale ad un massimo di 33, con un numero medio pari a 9 per Servizio/Ente. Vi sono poi i casi particolari della Stazione Agrofenologica di Cadriano e del Giardino Fenologico di San Pietro Capofiume dell'Emilia-Romagna, dove si può contare sulla presenza di un rilevatore dedicato per sito costante nel tempo. In un terzo dei casi, il personale è volontario, ovvero non è dipendente del Servizio/Ente. Anche se la totalità dei Servizi/Enti che effettuano il monitoraggio fenologico (16) ritiene importante la formazione del personale dedicato, solo 4 sono in grado di garantire corsi di formazione specifici per i tecnici e solo in poco meno della metà dei programmi (7) sono previsti dei momenti di verifica sull'uniformità dell'interpretazione delle fasi fenologiche per specie monitorate, a garanzia dell'omogeneità e della qualità dei dati raccolti.

In sintesi, il monitoraggio fenologico è giudicato uno strumento indubbiamente utile per la realizzazione di strumenti operativi nel settore dell'agrometeorologia, ricevendo una valutazione media di 8,3 punti su 10, ma solo potenzialmente, perché la concreta efficacia riceve un punteggio solo intorno alla sufficienza (5,9 punti su 10).

Gli aspetti da implementare affinché il monitoraggio sia considerato più utile e fruibile (Fig. 2) sono principalmente l'aumento dei siti monitorati (12 risposte), dei rilevatori (11) e un lavoro di standardizzazione delle procedure (10), ma vi sono altre indicazioni interessanti, quali l'automatizzazione delle procedure, i controlli di qualità del dato e

l'introduzione di momenti di verifica dell'omogeneità di interpretazione della fase fenologica tra i rilevatori della stessa rete.

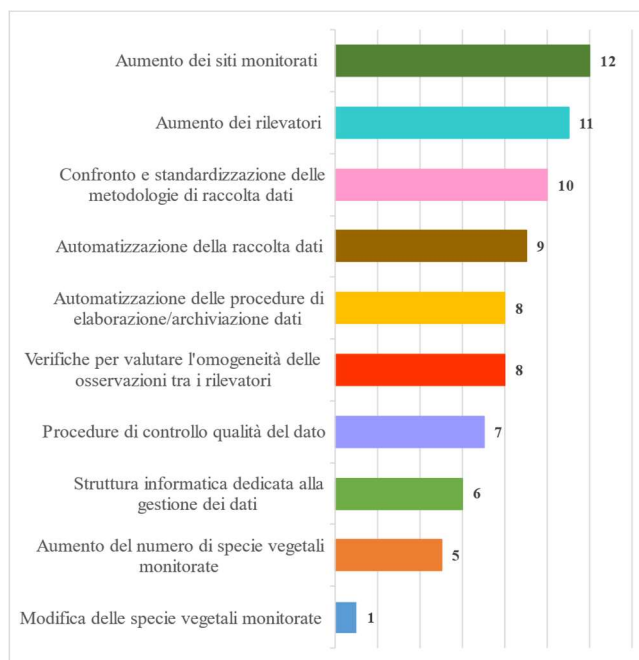


Fig.2 – Aspetti che dovrebbero essere implementati per migliorare il monitoraggio fenologico – Numero di risposte.
 Fig.2 – Aspects that should be implemented to improve phenological monitoring – Numbers of answers.

Conclusioni

Il quadro che emerge dalle risposte analizzate del questionario sui programmi di monitoraggio fenologico regionali evidenzia la presenza di un importante patrimonio di conoscenze e di competenze nel settore, in Italia. Il numero di programmi di monitoraggio in corso e il numero delle colture monitorate indica un elevato interesse nell'acquisizione di dati fenologici, quindi la consapevolezza dell'importanza della fenologia per il supporto alle decisioni in agricoltura.

Le metodologie di rilievo in campo e di scelta dei siti sono abbastanza uniformi e stabilizzate nel tempo. La densità dei siti è considerata sufficiente.

Per alcune colture, la copertura del monitoraggio appare molto ampia, sia in termini spaziali che temporali, con interessanti possibili sviluppi di analisi su scala nazionale.

Inoltre, emerge un ampio uso dei dati in diversi campi di interesse del settore agricolo, in particolare, date anche le missioni dei Servizi, su difesa fitosanitaria, produzione integrata e tecniche colturali quali irrigazione e fertilizzazione. Potenzialità più inespresse sembrano esserci nei settori della ricerca sui cambiamenti climatici (modifiche nei cicli e negli areali) e sulle analisi di rischio (impatti degli eventi estremi) temi che, anche se non strettamente legati ai compiti istituzionali del campione esaminato in questa indagine, sono aspetti di indiscusso interesse per il settore agricolo.

Emergono anche delle criticità, soprattutto in relazione alla esigenza di formazione specifica, data la soggettività intrinseca del monitoraggio fenologico e al controllo di qualità dei dati, da potenziare individuando delle metodologie standardizzate. Dal questionario emergono suggerimenti sui diversi ambiti in cui i programmi potrebbero essere migliorati, per rendere più utili i dati fenologici, in particolare il potenziamento delle reti di monitoraggio (siti e personale) e delle infrastrutture informatiche collegate.

Un ulteriore aspetto emerso dall'analisi dei risultati riguarda le metodologie di raccolta ed elaborazione dei dati che sono diverse in relazione alle finalità del monitoraggio, ad esempio tra monitoraggio su colture per aspetti fitosanitari e monitoraggio su specie spontanee per studi sui cambiamenti climatici.

In termini di prospettive, sarebbe importante ampliare l'indagine ad altri enti e università che effettuano monitoraggio fenologico, al fine di completare il quadro del patrimonio conoscitivo presente nel Paese. Altrettanto interessante sarebbe anche l'avvio, con le diverse realtà del settore, di collaborazioni di ricerca su tematiche di interesse comune, in particolare sulle correlazioni tra sviluppo fenologico, variabili meteorologiche e clima.

Ringraziamenti

Si ringraziano i Servizi e Enti regionali che hanno partecipato alla compilazione del questionario, senza la cui disponibilità, questa indagine non sarebbe stata possibile.

Bibliografia

- Istat. (2017). *L'utilizzo della tecnica CAWI nelle indagini su individui e famiglie*.
<https://www.istat.it/it/files/2017/09/Lutilizzo-della-tecnica-Cawi.pdf>
- Menzel, A. (2002). Phenology: Its Importance to the Global Change Community. *Climatic Change*, 54, 379–385.
<https://doi.org/10.1023/A:1016125215496>
- Merriam, S. B. (1998). *Qualitative Research and Case Study Applications in Education. Revised and Expanded from "Case Study Research in Education."*. Jossey-Bass.
- Snyder, R. L., & de Melo-abreu, J. P. (2005). Frost Protection: fundamentals, practice and economics. In *FAO*.
- Zammuner, V. L. (1996). *Interviste e questionari. Processi psicologici e qualità dei dati* (Borla).
- Zinoni, F., Antolini, G., Palara, U., Rossi, F., Po, V., Interprovinciale, C., Mario, A., Levante, V. E., Bo, I., Gobetti, V., Tosarelli, V., & Bo, C. (2005). Aspetti fisici ed ecofisiologici nella previsione e difesa delle piante da frutto dalle gelate tardive. *Italus Hortus*, 12(4), 63–78.

VERIFICA PLURIENNALE DELLA CATENA MODELLISTICA UTOPIA-IVINE PER LA GESTIONE DELLA VITE SU TERRITORIO PIEMONTESE

MULTI-YEAR VERIFICATION OF THE UTOPIA-IVINE MODELING CHAIN FOR THE VINEYARD'S MANAGEMENT IN THE PIEDMONT AREA

Claudio Cassardo^{1*}, Valentina Andreoli¹, Simona Barbarino², Roberto Cremonini², Tiziana La Iacona³, Nicola Loglisci², Massimiliano Manfrin¹, Luciana Rossato¹, Federico Spanna³

¹ Department of Physics and NatRisk Center, University of Turin, Torino, Italia

² Regional Environmental Protection Agency, ARPA Piemonte, Torino, Italia

³ Phytosanitary Sector, Regione Piemonte, 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 simulating their phenological and physiological processes. Input data required by IVINE include daily and hourly observations carried out in atmosphere and in the root soil zone, which are not always available. To solve this problem, a land surface model can be used, which evaluates soil and vegetation physical variables, and in this study the UTOPIA model (University of Turin model of land Process Interaction with Atmosphere) has been used. As IVINE, even UTOPIA needs hourly observations of meteorological variables. Previous studies showed that the quality of such kind of observations is quite important for an accurate simulation of pheno-physiological processes, and for this reason in this study we present the simulations carried out on a specific site. The selected site is Carpeneto, where there is a monitoring center of Agrion (the Foundation for research, innovation and technological development of Piedmontese agriculture). Two data sources were used: 1) the measurements carried out in the proximity of the vineyard, and 2) the output of the VHR (Very High Resolution) assimilation system of ARPA Piemonte. Simulations cover a period not lower than 10 years, starting from 2010. Some IVINE output relative to several years will be shown.

Riassunto

Il modello numerico IVINE (Italian Vineyard Integrated Numerical Model for Estimating Physiological Values) simula la crescita della vite simulandone i processi fenologici e fisiologici. I dati di input richiesti da IVINE includono osservazioni giornaliere e orarie effettuate in atmosfera e nella zona radicale del suolo, che non sono sempre disponibili. Per risolvere questo problema si può utilizzare un modello di superficie terrestre, che valuta le variabili fisiche del suolo e della vegetazione, e in questo studio è stato utilizzato il modello UTOPIA (University of Turin model of land Process Interaction with Atmosphere). Anche UTOPIA necessita di osservazioni orarie di variabili meteorologiche. Precedenti studi hanno dimostrato che la qualità di questo tipo di osservazioni è molto importante per un'accurata simulazione dei processi feno-fisiologici, e per questo motivo in questo studio presentiamo le simulazioni effettuate su un sito specifico (Carpeneto, dove è presente un monitoraggio effettuato dal centro Agrion – Fondazione per la ricerca, l'innovazione e lo sviluppo tecnologico dell'agricoltura piemontese). Sono state usate due fonti di dati: 1) le misure effettuate in prossimità del vigneto, e 2) l'output del sistema di assimilazione VHR-ARPAP. Le simulazioni coprono un periodo non inferiore a 10 anni, a partire dal 2010. Verranno qui mostrate alcune uscite di IVINE relative a diversi anni.

Parole chiave

Modelli di crescita, vigne, GLDAS, UTOPIA, IVINE

Keywords

Crop modeling, vineyards, GLDAS, UTOPIA, IVINE

Introduzione

In agrometeorology, the first crop models were developed in the 1960s, and they became more and more specialized in the following decades, well detailing the relationships between meteorological parameters and the various variables that regulate plant development. Crop models currently represent a tool that can be inserted in the context of precision agriculture and are very useful for supporting decisions in the agricultural sector, because they provide a whole series of output values necessary for following the vegetative processes and knowing the state of the plants. Furthermore,

when data relating to the future evolution of the aforementioned variables (on intervals from a few days to a few weeks, or climatic, for meteorological purposes, or time scales of a few decades, possibly using scenarios) are available, the evolution of plant growth stages can be predicted. Crop models require in input the characterization of the microphysical variability (which can be estimated using the specific meteorological conditions of the territory and the vegetation characteristics). They provide in output the characteristics, the phenological and vegetative phases of the examined plants and their fruits. This study was carried

out on the vineyards. Vines, among the various plants of agricultural interest, is one of the most robust and resistant to environmental anomalies (such as drought conditions) from a vital and productive point of view, but the production quality and quantity are influenced by the micrometeorological conditions.

In this study, we will show some results related to the application of the vine growth model IVINE (Italian Vineyard Integrated Numerical Model for Estimating Physiological Values), developed in our Department (Andreoli et al., 2019). This model can simulate the daily trend of a wide range of phenological and physiological parameters of vineyards using physical equations (e.g. photosynthesis, sugar, water balance) and empirical relationships (e.g. phenological phases). The project under which this study has been developed has the aim to test the quality of the IVINE predictions, eventually improving some parts of the model, and map the recent climatology of the IVINE parameters in the wine areas of Piedmont Italian region. In previous years, we have already tried to do similar experiments, and one of the biggest problems encountered was relative to the meteorological data provided to the model. Despite Piedmont region has two large regional networks of meteorological stations (one belonging to ARPA Piemonte and another one belonging to the Italian agrometeorological network), frequently single vineyards do not have meteorological stations located nearby. As previous studies have demonstrated, the currently available global datasets (such as GLDAS or ERA5-Land) have a too large grid size and is unable to well represent local conditions, especially in non-plain areas (and usually vineyards are located in hilly zones, in Piedmont region).

In this study, we have decided to use two kinds of meteorological datasets: in one case, we use the data coming from the VHR-ARPAP dataset of ARPA Piemonte, which is gridded such as GLDAS or ERA5-Land, but has a much higher resolution in space and time. As second source of data, in the first phase of the work, we will select stations located close to meteorological stations, in order to have locally measured data.

Since observations related to soil variables are usually unavailable (just a few stations of the two above mentioned networks measure soil temperature, and no one measures soil moisture), we have decided to use a modeling chain, in order to evaluate all missing variables required by IVINE model using another model. Using a method previously tested in previous studies, which has demonstrated a good potential, we have selected a SVAT (Soil Vegetation Atmosphere Transfer) scheme, driven by meteorological observations, to evaluate the physical parameters not measured. The SVAT scheme selected is the UTOPIA (University of Turin model of land Process Interaction with Atmosphere), developed and continuously improved at the Department of Physics by some of the authors.

The two models will be shortly described in the next section, that will contain also a schematic description of the database VHR-ARPAP.

Materials and Methods

a. UTOPIA

The University of Turin model of land Process Interaction with Atmosphere (UTOPIA), developed in Fortran at our Department since 1990 and continuously improved and tested (Cassardo and Andreoli, 2019), is a one-dimensional diagnostic model that studies the interactions at the interface between the atmospheric surface layer and the terrain, including vegetation and snow, if any. The model was tested in several climates of the world using data measured routinely or in occasion of experimental campaigns, or coupled with atmospheric circulation models. UTOPIA analyzes the physical processes between the atmosphere, land surface and vegetation, and falls into the category of bigleaf models. The Leaf Area Index represents the complexity of the vegetation, represented as a single large leaf. UTOPIA is a one-dimensional diagnostic model (it works on a single point, in which the only direction considered is the vertical one) that, starting from the meteorological data, describes the exchanges of energy, momentum and water vapor between the atmosphere and the soil, vegetated or not. The presence of a snow layer above ground or vegetation is also considered (Cassardo and Andreoli, 2019), as well as the water freezing in the soil. Vegetation and soil parameters (temperature and water content) are evaluated using balance equations applied to a multilayer soil scheme. The characteristics of soil and vegetation are codified into 34 types of vegetation or land use and 14 types of soil texture, respectively. In this study, the code referring to the vineyards was used. The UTOPIA also calculates the terms of the carbon balance (linked to photosynthesis). UTOPIA requires the following meteorological parameters as boundary data, at an hourly or half-hourly rate: temperature and humidity of the air, pressure, precipitation, wind speed and direction, global solar radiation, and – if available – also the downward longwave radiation.

In this study, the only outputs of UTOPIA taken into consideration were those related to two subsoil variables: the temperature and the volumetric water content of the soil, in the root zone of the vineyards.

b. The IVINE model

The Italian Vineyard Integrated Numerical model for Estimating physiological values (IVINE – Andreoli et al., 2019) is a numerical model designed and developed in Fortran in our Department in order to simulate the main phenological and physiological conditions of the vines during their growth. It requires the following meteorological parameters as boundary data, at an hourly rate: temperature and relative humidity of the air, global solar radiation, photosynthetically active radiation, wind direction and speed, atmospheric pressure, and temperature and volumetric content of water in two layers of the subsoil (respectively at depths of 34 and 106 cm). IVINE requires further initial data: geographical information (latitude, longitude), soil texture, vineyard information (planting density and vineyard management data: number and dates of

topping and thinning, and other specifically related parameters to the variety considered (thermal thresholds for the phenological phases, value of the sugar content for the beginning of ripening, veraison and harvest, average number of bunches per plant and of berries per bunch). If such data are available for long time intervals, such as 30 years or more, it is possible to perform climatic simulations, to get the climatology of the output. The outputs of IVINE are: the dates in which the phenological phases are reached, the yield of plants, the sugar content of the berries, the weight of the berries, the mass of dry and wet matter, the leaf water potential, and the LAI. Since the model details has been already described elsewhere (Andreoli et al., 2019), here we just summarize some points. IVINE simulates the phenological phases of the vines starting from temperature thresholds defined for each variety, using hourly or daily thermal sums. The phases considered are: exit from the dormancy, bud burst, flowering, fruit setting, beginning of ripening, veraison, and harvest. For the last three phases, also the berry sugar content is considered, with specific thresholds for each phase, and the phase is considered as reached when one of the two thresholds (the one of the thermal sum and the one for the sugar content) is exceeded. The plant vigor is evaluated using the LAI (m^2 of leaves per m^2 of soil). The berry sugar content, used to monitor grape ripening, is calculated starting from the beginning of the flowering phase using a double sigmoid curve. The yield is evaluated by the dry matter and the plant density.

c. The VHR-ARPAP database

The data VHR-ARPAP (Very High Resolution database from ARPA Piemonte, where ARPA is the Regional Protection Agency for Environment) contain the output of the limited area model COSMO-CLM on Piedmont. In this database, horizontal grid spacing is 2,2 km, and temporal resolution is one hour. For the purpose of this project, the values relative to the closer grid point to the selected location, as well as of an area of 484 km^2 surrounding this location (e.g., a square of ten grid points per side) have been extracted. The selected variables are: temperature and humidity of the air, velocity and direction of the horizontal wind, atmospheric pressure, precipitation, downward solar radiation. Regarding the time interval, the database is available from 2010 to 2021.

Results, Discussion and Conclusions

First simulation has been performed by running UTOPIA and IVINE models driven by the VHR-ARPAP dataset in the period 2010-2021 on the grid point near to Carpeneto vineyard (in province of Alessandria), one of the experimental vineyards monitored by the Agrion Foundation. Here it is present the Barbera cultivar (*Vitis Vinifera* cv.), so the IVINE calibration for this cultivar was adopted. A second simulation has been performed on a wider period (2003-2022) in order to include the very hot 2003 summer and the very hot and arid 2022 season.

In Fig. 1 some input variables used for the two models are reported, relative to the wider period 2003-2022. Fig. 2 instead shows an example of the UTOPIA output values

(temperature and moisture) relative to two soil layers. The analysis of such values shows, for instance, the large soil moisture anomaly observed during 2022.

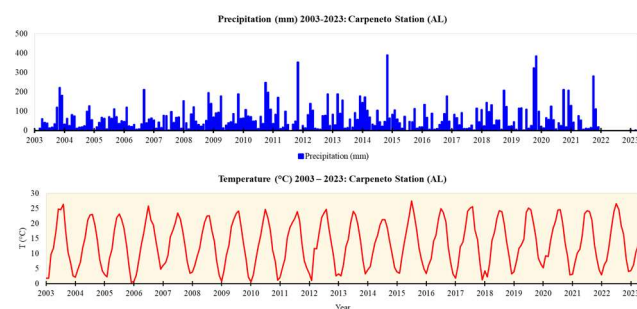


Fig.1 - Precipitazione cumulata mensile (sopra, in mm) e temperatura media mensile (sotto, in °C) osservate nella stazione meteorologica di Carpeneto. Tali dati sono stati usati per i modelli UTOPIA e IVINE nella seconda simulazione.

Fig.1 - Cumulative monthly precipitation (above, in mm) and average monthly temperature (below, in °C) observed in the Carpeneto meteorological station. These data were used for the UTOPIA and IVINE models in the second simulation.

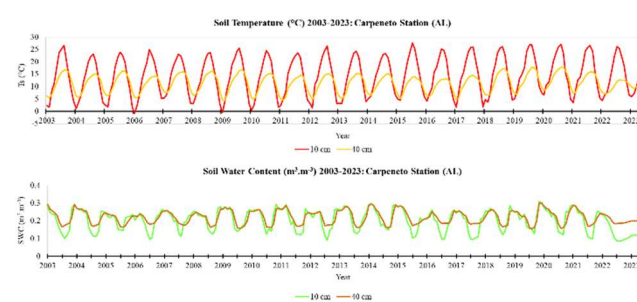


Fig.2 - Valori simulati da UTOPIA di temperatura (sopra, in °C) e di contenuto volumetrico di acqua (sotto, in m^3/m^3) in due livelli di sottosuolo.

Fig.2 - Values simulated by UTOPIA of temperature (above, in °C) and volumetric water content (below, in m^3/m^3) in two subsoil levels.

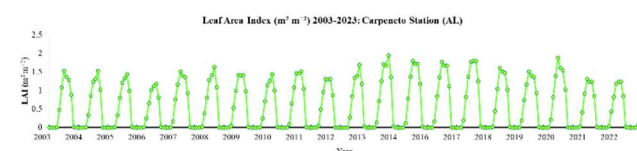


Fig.3 - Valori simulati da IVINE relativi al LAI (m^2/m^2).

Fig.3 - Values of LAI (m^2/m^2) simulated by IVINE.

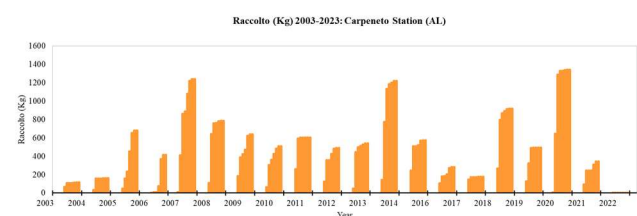


Fig.4 - Valori di raccolto (kg/pianta) simulati da IVINE.

Fig.4 - Values of yield (kg/plant) simulated by IVINE.

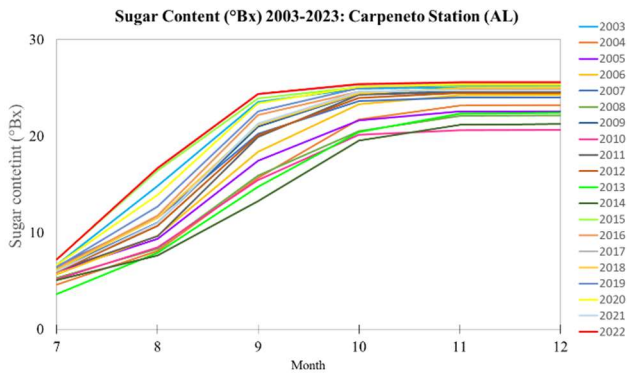


Fig.5 - Valori di contenuto zuccherino degli acini (°Bx) simulati da IVINE.

Fig.5 - Values of berry sugar content (°Bx) simulated by IVINE.

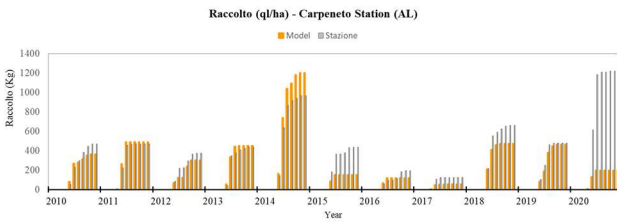


Fig.6 - Confronto tra il raccolto (in quintali per ettaro) simulato nel primo e nel secondo esperimento da IVINE.

Fig.6 - Comparison between the yields (in quintals per hectare) simulated in the first and second experiment by IVINE.

The intercomparison of the figures reveals the large interannual variability of the variables during the years. This is the effect of the various combinations of meteorological factors throughout the year. The result shows that, for each year, the values are the result of a particular sequence of events.

The comparison of the yields evaluated using the two different input data shows that the quality and the values of the meteorological variables (among all, the temperature, that is the main driving variable for IVINE) is very important to correctly evaluate the characteristics of the production.

Since this result is still preliminary, we do not have investigated yet about the causes of the difference, as well as we do not have analyzed yet other variables, and/or performed comparisons with the observations manually performed within the vineyard. This will certainly be the immediately further step to perform in this work.

Finally, one note. Also in this simulation, as in previous studies, we have not included the slope of the vineyard and its geographical exposure, which instead can be important for the growth and maturation process. This parameter is not included into IVINE model, but it may be possible to provide to IVINE radiation input already taking into account these characteristics. However, since we do not have validated yet this kind of procedure, we have preferred not consider this factor in this work.

Despite these limitations, we think that the work has produced an overall interesting result, by showing the interannual variability of many parameters related to the vineyards growth, and showing thus the potentialities of IVINE.

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., 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.

SCAMBI DI FLUSSI DI CO₂ E H₂O TRA ATMOSFERA E COLTURE ORTIVE: IL CASO DEL POMODORO

CO₂ AND H₂O EXCHANGE FLUXES BETWEEN ATMOSPHERE AND A TOMATO CROP.

Marianna Nardino^{1*}, Stefano Anconelli², Federico Carotenuto¹, Camilla Chieco¹, Daniela Famulari¹, Salvatore Luca Gentile², Matteo Mari¹, Domenico Solimando² and Federica Rossi¹

¹ CNR-IBE, Istituto per la BioEconomia, Via Gobetti 101, 40129 Bologna

² CER-Area Ricerca e Sviluppo Agronomico, Via Ernesto Masi 8, 40137 Bologna

* Marianna.Nardino@ibe.cnr.it

Abstract

The aim of this study is the direct measurement of CO₂, H₂O and energy exchange fluxes between the atmosphere and a tomato crop using the eddy covariance micrometeorological technique.

Exchange measurements were carried out during the vegetative period in 2022 (May-September) on a 1.5 ha plot cultivated with industrial tomatoes (*cv. UG11239F1*) within the Acqua Campus site, research pole of the Canale Emiliano Romagnolo (CER) in the province of Bologna, IT (Mezzolara di Budrio).

The exchange between the atmosphere and the agro-ecosystem is reported here in terms of net ecosystem exchange (NEE) and evapotranspiration flux, with the calculation of crop coefficients (K_c). The aim of the work is to quantify the carbon absorbed by the crop during a full growing season, assessing its potential effect in terms of climate change mitigation. The data presented here are going to be used for the implementation and validation of the IRRIFRAME system, a Decision Support System designed by CER to reduce waste and optimise the use of irrigation water.

Parole chiave:

colture ortive, scambi netti ecosistema, coefficienti colturali, carbonio, acqua

Keywords

Horticultural crops, net ecosystem exchange, crop coefficients, carbon, water

Introduction

The worsening effects of climate change have focused the attention of researchers on studying the patterns of carbon (C) cycling, to assess how an ecosystem can influence the atmospheric CO₂ concentration through C absorption, sequestration and release (Chapin et al., 2006).

Agriculture generates a significant proportion of the global GHG (Green House Gases) emissions to the atmosphere (Heimlich et al., 2021), but can also be an important sink of carbon. Monitoring CO₂ fluxes is essential to quantify the contribution to carbon uptake by different crops, to assess the potential ecosystem services of agriculture, and to establish the potential role of crops in mitigating climate change (Nardino, 2013).

The eddy covariance method is widely used for measuring trace gas exchange between terrestrial ecosystems and the atmosphere for extended periods, over areas that are typically of the order of several hundred square meters, such as forests (Baldocchi, 2003).

Used over agricultural ecosystems, particularly in horticultural sites, this technique encounters some additional problems, such as: disturbance due to frequent management practices, influence of previous crops or past managements, and the difficulties in reporting annual emissions for a specific crop because of the brevity of the growing season. The biggest issue remains, however, the large diversity of cropping systems, which makes it difficult to compare data from sites in different regions and at different times, even

with comparable crops (Smith et al., 2010). In fact, different locally adopted managements and farming techniques strongly influence plant physiology, and consequently modify the carbon exchange efficiency.

The many chemicals input and the intensive management of horticultural crops determine their environmental impact and their greenhouse gas emissions. In order to determine the real contribution of agriculture to climate change in view of a possible future regulation of the carbon credit market, it is important to deepen the knowledge regarding CO₂ absorption potential of as many agro-ecosystems as possible, capturing different environmental and climatic conditions. Climate change also has a major effect on water consumption, due to the adverse effects on its availability in agriculture. For this reason, the information systems are now widely used to support irrigation management in many Countries.

In the Emilia Romagna region, Canale Emiliano Romagnolo (CER) developed the DSS (Decision Support System) IRRIFRAME, providing the irrigation service to all farms in the region

(https://www.irriframe.it/irriframe/home/index_er).

IRRIFRAME is a free service that provides irrigation advice on when and how to intervene on the water volumes to use in order to obtain the same quality product while saving water resources. It is based on the water balance method,

calculated every day with meteorological, pedological and groundwater data.

The use of information systems is implemented within the research applications to improve irrigation advice. In order to improve the degree of accuracy in the actual evapotranspiration estimate, parameters for each crop type during different growing phases are measured, and used to calculate the proper K_c (crop coefficients).

Here we present preliminary results from an eddy covariance flux measurement site located in Emilia Romagna. We measured CO_2 and H_2O fluxes from a tomato cropland site during the vegetative season in 2022.

Material and Method

Measurements were conducted from May 2022 to September 2022 in the Acqua Campus experimental site of CER (Consorzio Emiliano Romagnolo). Three contiguous plots were planted with industrial tomato (*cv. UG11239F1*) and the eddy covariance station was installed in the most appropriate place to get flux measurements only from the tomato crop and not from the surrounding crops (see Figure 1). The tomato was planted on 23rd of May, and harvested on 24th of August.



Fig.1- Plots with tomato crop (orange box) and position of the eddy covariance station (red cross).

Fig.1- Parcelle con coltura di pomodoro (riquadro arancione) e posizione della stazione di eddy covariance (croce rossa)

Continuous half-hourly CO_2 , heat and evapotranspiration fluxes have been measured over the crop surface using the eddy covariance technique. The instruments were positioned at 1.8 m from the ground on a mast located near the centre of the crop.

Wind velocity and temperature fluctuations were measured with a three-dimensional ultrasonic anemometer (Metek GmbH, USA1, Elmshorn, Germany), and water vapour and carbon dioxide with an open-path, infrared absorption gas analyser (IRGA Li7500, LiCor Inc, Lincoln, NE, USA).

Data were sampled at 10 Hz and stored on a portable PC using EddyPPC software (custom-made and developed in house at IBE-CNR); eddy covariance post-processing was performed to obtain 30 minutes fluxes by the EddyPro-7 software

(Licor, <https://www.licor.com/env/support/EddyPro/software.html>)

The footprint analysis was made after the period of measurements, following the methodology proposed by Kljun et al. (2015) to assess the origin of CO_2 eddy covariance fluxes.

The applicability of eddy covariance is restricted by several assumptions: horizontal homogeneity of the upwind surface, homogeneity of the turbulence and mean flow, stationarity, storage, sensors misalignments, changes in air density, etc. (see e.g. Foken and Wichura, 1996; Kaimal and Finnigan, 1994). In the post processing, a quality check was applied together with specific routines to remove the common errors: running means to avoid de-trending problems, three angle coordinate rotations of the wind vector to remove the effects of instrument tilt or terrain irregularity on the airflow, de-spiking, and stationarity.

Data quality check procedures and some occasional failure of the system led to a data coverage of 65% over the whole period. Therefore, a procedure of data gap filling was adopted to compute the monthly NEE. When the gaps were smaller than three consecutive hours, data were linearly interpolated. In all the other cases, the non-linear regression method was applied (Falge et al., 2001).

The computed crop coefficients (K_c) were used to improve the IRRIFRAME DSS from CER for the tomato crop: these were derived from the direct measurements of evapotranspiration flux and the reference evapotranspiration, calculated using the Hargreaves-Samani method (Hargreaves and Samani, 1985).

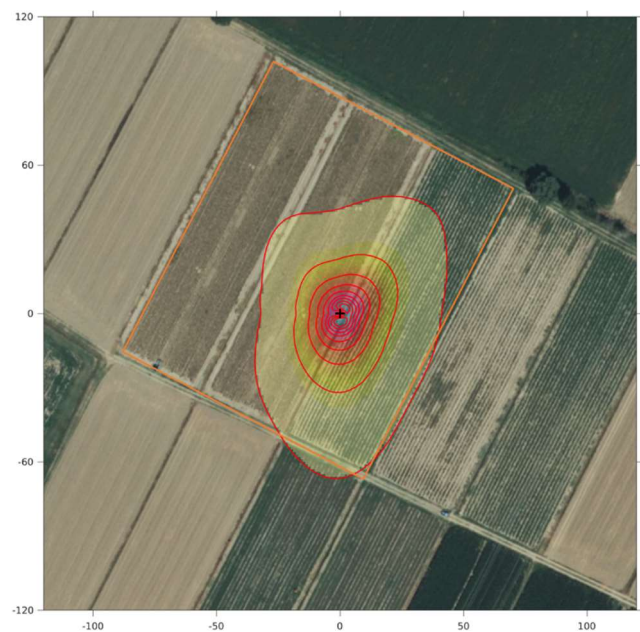


Fig.2- Map of the flux tower area with 2D footprint contour lines, from 10 to 90% contribution to the flux, in 10% steps.

Fig.2- Mappa dell'area della torre di flusso, con isolinee dell'impronta 2D, dal 10 al 90% di contributo al flusso, passi del 10%

Results and Discussion

Figure 2 shows the upwind area most likely contributing to the maximum total flux: the data collected fall within the crop surface in the three considered plots. The fetch conditions therefore can be considered acceptable for reliable flux data collection.

The CO₂ and H₂O fluxes during the vegetative season (May-September 2022) are reported in Figure 3, with the planting and harvest events: the carbon uptake shows a clear increase during the vegetation growing period, and it becomes positive (CO₂ emission) after the harvest (24th August). The evapotranspiration flux also increases during the vegetative period, showing the plants evaporation in addition to soil transpiration.

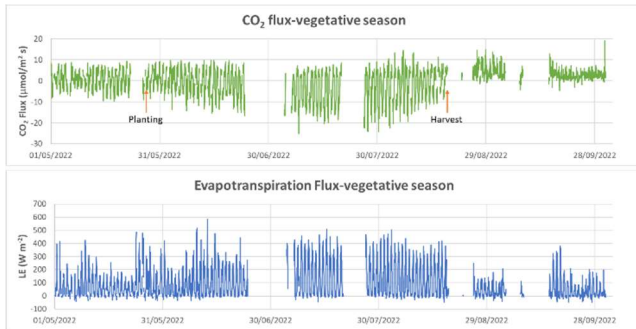


Fig.3- CO₂ and H₂O fluxes during the vegetative period (May-September 2022).

Fig.3- Flussi di CO₂ e H₂O durante il periodo vegetativo (maggio-settembre 2022).

In Figure 4 is shown the time series of CO₂ fluxes after application of the gap-filling procedure. We then computed from these gap-filled CO₂ flux values the NEE (Net Ecosystem Exchange), ER (Ecosystem Respiration) and GPP (Gross Primary Production). Since the tomato crop was planted at the end of May, the monthly NEE value is positive, indicating emission of CO₂ in atmosphere from the ecosystem. June and July instead are the months in which the greatest absorption of CO₂ occurs, reaching a maximum value of 5090 kg CO₂/ha month (Figure 5).

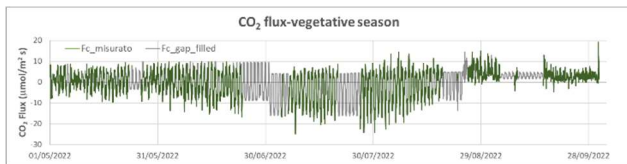


Fig.4- CO₂ flux measured (green) and gap filled (grey) during the vegetative period (May-September 2022).

Fig.4- Flussi di CO₂ misurati (verde) e stimati (grigio) durante il periodo vegetativo (maggio-settembre 2022).

The ecosystem respiration also changed during these months because of different soil temperatures and different vegetation coverage. The NEE ecosystem exchange of the tomato crop during this crop cycle (23rd May-24th August) resulted equal to 6 t CO₂/ha.

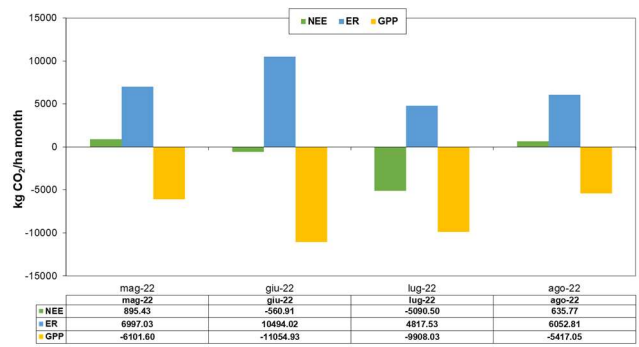


Fig.5- Monthly NEE (Net Ecosystem Exchange), ER and GPP during the vegetative period.

Fig.5- NEE (Net Ecosystem Exchange), ER e GPP mensili durante il periodo vegetativo.

The crop evapotranspiration was computed from the evapotranspiration fluxes measured by eddy covariance during the vegetative period, shown in Figure 6. The reference evapotranspiration was computed using Hargreaves-Samani method, and allowed the calculation of the crop coefficient K_c, varying throughout the growing season (Figure 7). The trend shows different values during the different growing phases, with values mostly greater than the FAO database (<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en/>). It is possible that the Hargreaves-Samani method introduces some errors: we set as the next step to compute the ET₀ using the Penman-Monteith formula.

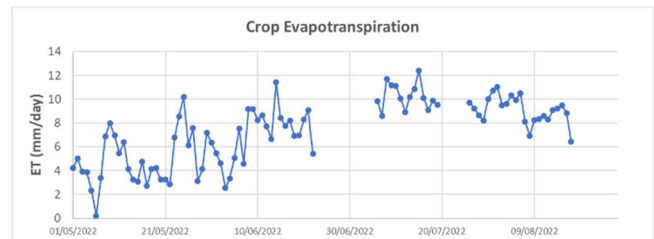


Fig.6- Crop evapotranspiration during the vegetative period.

Fig.6- Evapotraspirazione delle colture durante il periodo vegetativo.

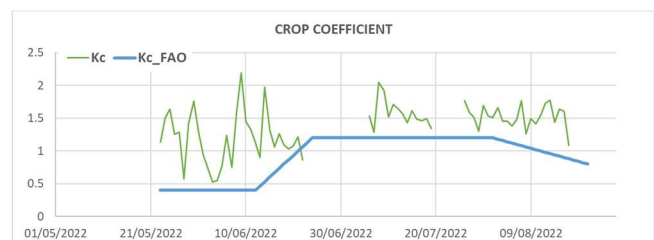


Fig.7- Crop coefficients during the growing season obtained by eddy covariance data (green line) and by FAO (blue line).

Fig.7- Coefficienti culturali durante la stagione vegetativa ottenuti dai dati di eddy covariance (linea verde) e dalla FAO (linea blu).

Conclusions

The present study shows original results for the carbon and water vapour exchange between the atmosphere and a tomato crop in Northern Italy. To our knowledge there is very little data in literature on NEE for tomato crops, obtained from directly measuring by the eddy covariance method. For all horticultural ecosystems in fact, the brevity of crop growing seasons, and the different agronomic practices make it difficult to estimate crop NEE by the eddy covariance technique, because these often hamper the hypotheses of the methodology itself. The NEE we obtained from our measurements during the tomato growing season in 2022 is 6 t CO₂/ha (165 t C/ha), comparable with values reported for a soybean crop (Ramirez et al., 2011).

The preliminary results obtained in this study on tomato Kc will be further analysed applying the Penman Monteith method, beside what already used, to check and improve the accuracy of our estimates. These re-evaluated Kc values will then be input in the SDD IRRIFRAME, to validate and further improve the tool to support irrigation advice to the Emilia Romagna region farmers.

Currently, emission inventories take into account the emissions of horticultural crops largely relying on emission factors derived from a few studies, seldom taking into account real field conditions. Considering the increasing importance of C trading, an improvement of the estimate of C balance over agricultural crops, especially horticultural, would be really needed to better derive carbon credits, by better linking them to actual conditions.

Further studies on long term measurements over rotating horticultural crops would allow to better characterise such varieties in terms of C balance. Also, it would be possible to consider the long-term effect of agricultural practices on soil C content, crucial for evaluating the impact of such mitigation strategy.

References

- Baldocchi D.D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology*, 9: 479-492.
- Chapin F.S., Woodwell G.M., Randerson J.T. et al., 2006. Reconciling Carbon-cycle Concepts, Terminology, and Methods. *Ecosystems*, 9: 1041-1050.
- Falge E., Baldocchi D.D. Olson, R.J. et al., 2001. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange, *Agr. Forest Meteorol.* 107: 43-69.
- Foken T., Wichura, B., 1996. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agric. For. Meteorol.*, 96: 83-105.
- Hargreaves and Samani, 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature, *Appl. Eng. Agric.*, 1: 96-99.
- Heimsch L., Lohila A., Tuovinen J.-P., Vekuri H., Heinonsalo J., Nevalainen O., Korhonen M., Liski J., Laurila T., and Kulmala L., 2021. Carbon dioxide fluxes and carbon balance of an agricultural grassland in southern Finland, *Biogeosciences*, 18: 3467-3483.
- Kaimal J.C., Finnigan J.J., 1994. *Atmospheric Boundary Layer Flows, Their Structure and Measurement*; Oxford University Press, New York, NY, USA, pp. 304.
- Kljun N., Calanca P., Rotach M. W., and Schmid H. P., 2015. A simple two-dimensional parameterisation for Flux Footprint Prediction (FFP). *Geosci. Model Dev.*, 8: 3695-3713.
- Nardino M., Pernice F., Rossi F., Georgiadis, Facini O., Motisi D., 2013. Annual and monthly carbon balance in an intensively managed Mediterranean olive orchard. *Photosynthetica*, 51: 63-74.
- Ramirez G.H., Hatfield J.L., Parkin T.B., Sauer T.J., Prueger J.H., 2011. Carbon dioxide fluxes in corn-soybean rotation in the midwestern U.S.: Inter- and intra-annual variations, and biophysical controls, *Agricultural and Forest Meteorology*, 51(12): 1831-1842.
- Rossi F., Chieco C., Di Virgilio N., Georgiadis T.; Nardino M. 2021. Is Agriculture Always a GHG Emitter? A Combination of Eddy Covariance and Life Cycle Assessment Approaches to Calculate C Intake and Uptake in a Kiwifruit Orchard. *Sustainability*, 13: 6906.
- Smith P., Lanigan G., Kutsch W. L., Buchmann N., Eugster W., Aubinet M., Ceschia E., Béziat P., Yeluripati J. B., Osborne B., Moors E. J., Brut A., Wattenbach M., Saunders M., Jones M., 2010. Measurements necessary for assessing the net ecosystem carbon budget of croplands. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 139(3): 302-315.

SVILUPPO DI UN APPLICATIVO PER LA MISURAZIONE DELL'IMPRONTA DI CARBONIO E DI ACQUA DEI SISTEMI DI COLTIVAZIONE DEL GRANO DURO BIOLOGICO: IL PROGETTO SMART FUTURE ORGANIC FARMING (SFOF)

DEVELOPING A SOFTWARE FOR MEASURING CARBON AND WATER FOOTPRINT OF ORGANIC DURUM WHEAT CULTIVATION SYSTEMS: THE SMART FUTURE ORGANIC FARMING (SFOF) PROJECT

Pasquale Garofalo^{1*}, Marco Parlavecchia¹, Luisa Giglio¹, Ivana Campobasso¹, Domenico Ventrella¹

Council for Agricultural Research and Economics – Agriculture and Environment¹

*pasquale.garofalorea.gov.it

Abstract

Agricultural production has significant environmental impacts, and there is a growing need to develop tools to help farmers measure the consequences of their practices and identify alternative options to reduce these impacts. The ideal tools should be user-friendly yet scientifically sound, with a robust scientific foundation approved by the scientific community. To this end, a framework has been developed, which leverages the UNI EN ISO regulations for Life Cycle Assessment, and dedicated software to measure the carbon and water footprint of durum wheat cultivation systems under organic regimes. The framework takes into account farming operations, fertilization, pesticides, straw management, and soil carbon stock evolution to produce the most accurate CO₂ balance and water consumption. The framework is being converted into a software, which will be easy to use and interpret for sector operators.

Parole chiave

Sistemi di supporto alle decisioni; Impatti ambientali; Analisi del ciclo di vita

Keywords

Decision support systems; Environmental impacts; Life Cycle Assessment

Introduction

Agriculture is a major contributor to global greenhouse gas (GHG) emissions, accounting for approximately one quarter of all emissions worldwide. The primary GHGs associated with agriculture are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O), which are emitted during various agricultural practices such as soil management, livestock production, and energy use (FAO, 2020). Soil management practices such as tillage, fertilization, and crop residue management can lead to the release of carbon stored in the soil, contributing to CO₂ emissions. Manure management and synthetic nitrogen fertilizers also contribute to N₂O and CH₄ emissions. With the growing concern over the environmental impacts of agricultural production, there is an urgent need for tools that can help sector operators to evaluate the consequences of their agricultural practices and identify alternative options to reduce their impacts, such as water consumption and GHG emissions. These tools should be easy to use and interpret, but also based on scientific foundations approved by the scientific community. The efficient assessment of the environmental impact of agricultural practices requires quality and robust data and standardized methodologies. The use of scientific-based tools that comply with approved principles, such as Life Cycle Assessment (LCA), can promote consistency and accuracy in evaluating the impact of food production. LCAs, which measure the

environmental effects of the entire life cycle of a product or service, can be customized to assess the environmental impact of farming practices. Such tools make it easier to identify the most significant contributors to the environmental footprints of agricultural practices, including greenhouse gas emissions, waste, water usage, and land usage. The data from these assessments can inform farmers' decision-making on how to reduce their environmental impact, increase their productivity, and improve their profitability. By making sustainable food production accessible to farmers, it is possible to reduce pressure on the environment while still meeting demands for food. Despite the availability of scientific-based tools, only a small percentage of farmers currently utilize these methods for assessing environmental impact. One of the major barriers is a lack of awareness or understanding of the benefits, along with time constraints and limited resources. As such, it is necessary to raise awareness among farmers, extension agents, and stakeholders about the significance of assessing the environmental impact of agricultural practices. Providing farmers with access to easy-to-use tools that produce reliable and understandable results is therefore an important step towards promoting sustainable agricultural practices. In light of the above, the goal of SFOF project was to replicate the complexity and efficiency of standardized procedures and tools dedicated to

LCA in highly simplified, easy-to-use software for agriculture actors.

Materials and Methods

For the development of this software, the environmental impact assessment related to GHG emissions and water consumption (blue and green) in organic wheat agriculture in the Mediterranean environment, using LCA, following the UNI EN ISO 14040 and subsequent regulations was performed. Thus, the scope and goals of this analysis, as well as the system boundaries, input material flows, impact allocation, functional unit and environmental footprints were initially defined.

The development of the software (in this case, carbon and water footprint; *CWFP*) was driven by the goal of creating a user-friendly tool with an intuitive interface that could guide the user in choosing the necessary inputs through informative windows. However, the simplicity of use and interpretation of the data generated by the software only referred to the information flow between the system and the end-user, and not to the underlying framework of the software. The tool's framework was simplified by streamlining the processes from dedicated software (specifically SimaPro ver. 8), while retaining the material and energy flows, calculations, and outputs required for proper LCA assessment within SimaPro. The "cradle-to-gate" analysis was picked as the option to define system boundaries, as these restrictions best suited the development of *CWFP*, the target for which it was designed, and the information deemed necessary to provide to the end-user. Inside the cradle-to-gate analysis, the flows of material and energy referred to all machines, equipment, fertilizers, and pesticides potentially serviceable and allowed in organic agriculture. It should be noted that the soil operations reported by default in *CWFP* could not include all the options that a farmer can implement in the agricultural system. Therefore, a series of algorithms (Smith, 2015) have been implemented to estimate fuel consumption based on the speed and load force of the tractor (if the user does not have the actual consumption). Therefore, the software, based on the estimated consumption, determines the GHG emissions (as well as the impacts related to the manufacturing and maintenance of the tractor, machinery, buildings) and the blue water. This dataset was therefore related to primary data, while the secondary data were 'searched' by the SimaPro on the Ecoinvent database implemented in the software and based on what was indicated as primary information. As functional unit, or the target on which all environmental impacts are referenced, the hectare of cultivated soil was engaged. This allowed for the bypassing of impact allocation, as no by-product is formalized using as reference unit a specific surface area. In this regard, although this avoided impact allocation as regulated by the UNI EN ISO regulations on Life Cycle Assessment, a premise needs to be made. Assessing only what happens on the cropped surface produces an inaccurate estimate of what occurs throughout the investigated cropping system.

In fact, while all crop operations, including the software of chemicals, generate environmental impacts, crop residues represent a carbon sink and N₂O release. Depending on how crop residues are managed, residue can release CO₂ or represent a soil carbon storage (as reported below). Therefore, in *CWFP* software, the user should indicate the amount of straw that is removed from field, in order to calculate the gain/loss of soil organic carbon (SOC; kg ha⁻¹) and converted into CO₂. Anyway, if the user does not have such information, the *CWFP* software implements an algorithm for calculating the straw and roots produced starting from the yield (IPCC, 2006) and N₂O (converted into CO₂_{eq}) emission from decomposition of residues in the field. Additionally, the balance between carbon (in the form of CO₂) provided by the straw and that released through the mineralization of organic matter was achieved by means of simplified algorithm (Henin and Depui, 1945). For the latter, the algorithm parameters were calibrated on long-term experimental trials of durum wheat grown in Foggia (Southern Italy). Once all this information is collected, *CWFP* calculates the environmental impacts related to GHG emissions for various crop operations and agro-technical inputs. The framework, based on the flows of material and energy within the system, also returns the consumption of blue water, within the "cradle to gate" boundary. By providing the grain yield and its moisture content, information on the Carbon Footprint (kg CO₂_{eq} kg grain⁻¹) and Water Footprint (m³ water kg grain⁻¹) is achieved. For the latter, green water consumption is calculated by referring to the values reported by Garofalo et al. (2019) and added to the blue water to determine the total water consumption. To represent the potential of this tool, a comparison is made between the environmental performance of two organic cultivation systems based on conventional tillage (*CT*) and minimum tillage (*MT*; Table 1).

Tab.1 – Sistemi colturali utilizzati per il confronto (lavorazione convenzionale, CT; lavorazione minima, MT).

Tab.1 – Cropping systems used for comparison (conventional tillage, CT; minimum tillage, MT)

System	*Soil tillage	Other	Chemicals	Fertilizer	Yield (13% moisture)
<i>CT</i>	Ploughing (x1)	Sowing	Copper sulphate (5 kg ha ⁻¹ x2)	Compost (1000 kg ha ⁻¹)	2600 kg ha ⁻¹
	Disk harrowing (x2)	Harvest			
	Rotary tilling (x1)	Baling (3000 kg ha ⁻¹)			
<i>MT</i>	Subsoiling (x1)	Sowing	Copper sulphate (5 kg ha ⁻¹ x2)	Manure (500 kg ha ⁻¹)	2300 kg ha ⁻¹
	Harrowing (x1)	Harvest			
	Rotary tilling (x1)	Baling (1000 kg ha ⁻¹)			

*x followed by numbers indicates the number of passes on field

Results

Applying the *CT* scheme to the system, *CWFP* estimated a release of GHGs into the environment equivalent to 829 kg CO_{2,eq} ha⁻¹, with the most of impact attributed to soil tillage followed by other operations, so fertilizer, and finally by residues (the impact of chemical was negligible, Fig. 1). *CFP* was 0.40 kg CO_{2,eq} per kg of yield. The water consumption of this system was of 3941 m³ ha⁻¹, with 55% attributed to green water and the remaining 45% to blue water (Fig. 2). In relation to yield, *WFP* was equal to 1.31 m³ per kg of yield. Referring to *CFP* values reported in literature (authors not mentioned here), it was revealed that under such cropping system (management and productivity), environmental performance fell in the "average" segment of the impact scale (Fig. 2). Under *MT*, the environmental performance of the system was improved compared to *CT*. In this sense, the reduction in GHG emissions decreased by 29% (577 kg CO_{2,eq} ha⁻¹); once again, the highest impact came from soil management, but by reducing its intensity, it emerged that the other operations increased their weight GHG emissions. There was a clear reduction in the environmental impact following the use of manure instead of compost. The contribution of straw left in the soil to emissions (N₂O; 16.8% vs 8.6%) increased compared to *CT*, but in the soil carbon dynamic, residues (straw plus roots) from *MT* allowed the soil organic carbon to remain almost stable after 50 year, with CO₂ release into atmosphere from mineralization over a 50-year period of only 89 kg ha⁻¹ year⁻¹, whereas the CO₂ release due to soil organic carbon loss was of 379 kg ha⁻¹ year⁻¹ under *CT*. The authors are aware that a reduction in agro-technical inputs can result in a more or less marked reduction in crop productivity, so under this management, reduction equal to 10% in terms of grain yield was hypothesized when *MT* was compared to *CT*. Therefore, by reducing agro-technical inputs, *CFP* resulted in 0.25 kg CO_{2,eq} kg yield⁻¹, with a reduction of 37.5% compared to the full inputs treatment (Fig. 1). This improvement was also reflected in the measurement of water consumption. In fact, the total consumption (blue water + green water) of this resource amounted to 3089 m³ ha⁻¹ (of which 1648 m³ ha⁻¹ as blue water) for an estimate of *WFP* equal to 1.14 m³ ha⁻¹ (Fig. 2).

Discussion

To encourage farmers to adopt decision support systems, especially those related to softwares aimed at improving the environmental performance of agricultural systems, it is necessary for these tools to be as user-friendly as possible, to have a solid background, and to provide quick and easy-to-understand information. Based on these principles, *CWFP* has been designed and developed. The software has an extremely simple interface, in which dedicated "windows" guide the user in selecting the most appropriate inputs for their cropping systems. Some information can be entered by the farmer autonomously (such as bulk density of the soil, initial organic matter content, or straw production), or the software can select/estimate this

information based on knowledge already acquired by the user (i.e., soil type or fertility level).

The added value of *CWFP* is the balance of impacts/benefits following the choices made by the farmer, considering not only what happens "above" the system, but also what happens "below". This is different from simply summing up the emissions generated along the "cradle to gate" supply chain. Thus, although the estimation of emissions follows the attributional approach (emissions are entirely allocated to the cultivated field), the tool calculates the *CFP* using the closed-loop recycling approach, in which co-products (residues) become an essential resource for carbon sequestration and storage in the soil when recycled rather than totally removed, the latter strongly recommended practice in conservation agriculture. The *CFP* is accompanied by the *WFP* to provide indications regarding the impacts of agricultural management on water resources, a fundamental assessment in contexts with limited water supply such as southern Italy. The authors believe that this tool can be the means for widespread use of LCA applied to agriculture and all the related benefits that such analysis can provide, both in terms of environmental safeguard and benefit for the farmer. In fact, through environmental certification, farmers can be granted a credit (monetary) if they perform practices, also achievable through this tool, that allow the cropping system to remain below a specific environmental "alert" threshold, and a debit (payment of contributions) if such threshold is exceeded.

Conclusions

The development of user-friendly and scientifically sound tools to measure the environmental impacts of agricultural production is critical. This paper presented a framework that leverages the UNI EN ISO regulations for Life Cycle Assessment and dedicated software to measure the carbon and water footprint of durum wheat cultivation systems under organic regimes. The framework considers various factors, including farming operations, fertilization, pesticides, straw management, and soil carbon stock evolution, to produce accurate CO₂ balance and water consumption measurements. The conversion of this framework into an easy-to-use software for sector operators has the potential to contribute to the reduction of the environmental impact of agricultural production while improving the sustainability of the agricultural sector. The tool is in an advanced stage of development and will be made available as a web software in the coming weeks.

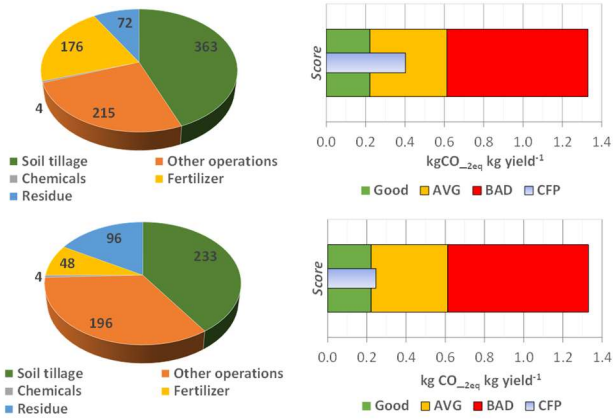


Fig.1 - Emissioni in kg CO₂eq ha⁻¹ ripartite fra le varie componenti del sistema colturale (a sinistra) e CFP (a destra). In alto CT, in basso MT.

Fig.1 - Emissioni in kg CO₂eq ha⁻¹ allocate tra le varie componenti del sistema colturale (a sinistra) e CFP (a destra). CT è in alto, MT in basso.

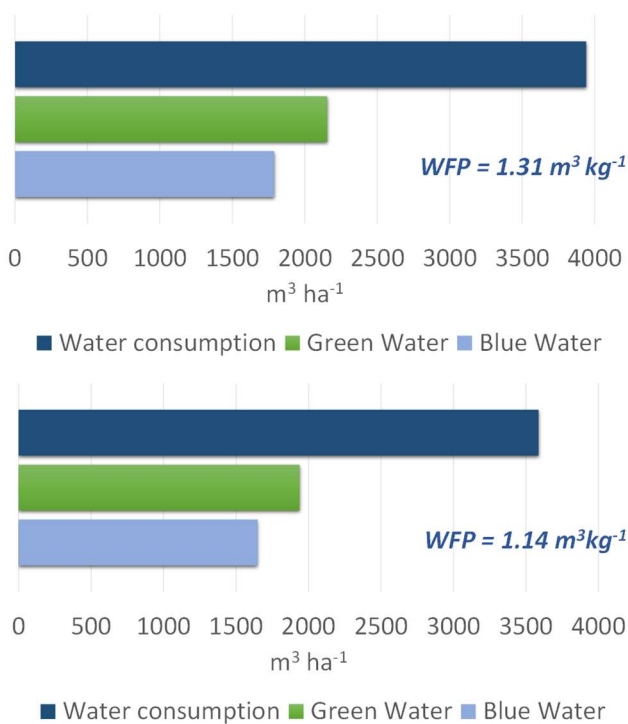


Fig.2 - Consumo di acqua (suddiviso in blu e verde) e WFP calcolato per CT (sopra) ed MT (sotto).

Fig.2 - Water consumption (split into blue and green) calculated for CT (above) and MT (below).

References

- FAO. 2020. Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000–2018. FAOSTAT Analytical Brief Series No 18. Rome
- Garofalo P., Ventrella D., Kersebaum K.C., Gobin A., Trnka M., Giglio L., Martin Dubrovský M., Castellini M., 2019. Water footprint of winter wheat under climate change: trends and uncertainties associated to the ensemble of crop models. *Science of the total environment*, 658, 1186-1208
- Henin, S. and Dupuis, M.: Essai de bilan de la matière organique du sol, in: *Ann. Agron.* 11, Dunod (impr. de Chaix), Paris, 17–29, 1945
- https://www.ipcc.ggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf.
- Smith B. J., 2015. Fuel Consumption Models for Tractors with Partial Drawbar Loads. *Biological Systems Engineering-Dissertations, Theses, and Student Research*. 56, pp. 71.

LA PERCEZIONE DEGLI AGRICOLTORI COME STRUMENTO UTILE PER MIGLIORARE IL SERVIZIO DI CONSULENZA IRRIGUA

FARMERS' PERCEPTIONS AS AN USEFUL TOOL TO IMPROVE IRRIGATION ADVISORY SERVICE

Itzel Inti Maria Donati¹, Davide Viaggi², Zorica Srdjevic³, Bojan Srdjevic³, Antonella Di Fonzo⁴, Teresa Del Giudice⁵, Orlando Cimino⁴, Andrea Martelli⁴, Anna Dalla Marta⁶, Roberto Henke⁴ and Filiberto Altobelli^{4*}

¹Department of Architecture and Design Landscape and Environment Sapienza, University of Rome, Piazza Borghese 9, 00186 - Rome Italy,

²Department of Agricultural and Food Sciences, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Viale Fanin, 50, 40127, Bologna, Italy;

³Department of Water Management, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Trg D. Obradovica 8, 21000 Novi Sad, Serbia,

⁴Council of Research in Agriculture and Analysis of Agricultural Economics-Research Centre for Agricultural Policies and Bio-economy, Via Barberini, 36, 00187 Rome, Italy;

⁵Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II, Reggia di Portici - Via Università, 100, 80055 Portici, Naples, Italy;

⁶Department of Agrifood Production and Environmental Sciences, University of Florence, Via delle Cascine, 5, 50144, Florence, Italy;

*filiberto.altobelli@crea.gov.it

Abstract

Agricultural water scarcity, which is subject to the impacts of rainfall changes is affecting many regions of the world and it is leading to water competition between various users and uses. To deal with these issues, research concerning the application of Decision support systems (DSS) in agriculture has rapidly increased. In the current strategic agriculture framework, the new Common Agricultural Policy (CAP 2023- 2027) encourages farmers to use DSS. In this context, Irrigation Advisory Services (IAS) can play a key role in supporting users to adopt new techniques for a more efficient water use and increased production. In order for DSS and IAS to be able to approach the territory through efficient solutions in sustainable irrigation management, it is necessary to undertake a detailed study on the preferences expressed by final users through MCDA (Multi-Criteria Decision Analysis) in particular Analytical Hierarchy Process (AHP). In this research the judgments of stakeholders have been collected, analysed, and compared to enable advanced management strategies in the IAS, to address heterogeneous decision-making processes in the complex context of irrigation strategies. Improving access to information, ensuring data coherence and communication of data detected by climate variability are some of the issues investigated through this work.

Parole chiave

Servizio consulenza irrigua, Analytic Hierarchy Process (AHP), processo decisionale in agricoltura; gestione delle risorse idriche

Keywords

Irrigation advisory service; Analytic Hierarchy Process (AHP); agricultural decision making; water management.

Introduction

Since its inception in 1962, the Common Agricultural Policy (CAP) has evolved over the years to respond to the needs of European citizens and to adapt to changing environmental and economic conditions (Cabello Villarejo and Madrid Lopez, 2014). In particular, the 2014-2020 CAP reform provided more targeted support to agricultural practices significantly important for both climate and environment (Special report on the common agricultural policy and climate, 2021). Several changes were carried out with a focus on climate action and with the aim of fostering 'CAP greening' (Ciaian *et al.*, 2018). These environmental priorities are updated and supported until today in the CAP 2023-27 framework. Currently, the interest in promoting a form of agriculture capable of adapting to climate change has carried the management of water resources is one of the keys points in the reforms of the CAP. As a matter of fact - *Foster sustainable development and efficient management of natural resources such as water, soil and air and Fostering knowledge, innovation and digitalisation in agriculture* - has

been designated to be two of the ten new legislation objectives, which entered into force on 1st January 2023, in the new CAP 2023-2027. In order to improve water use, EU countries are called to invest and encourage, research and innovation in the sector by the implementation of "smart irrigation" technologies. An efficiency use of water for irrigation is a priority driven by the evidence that many areas in the Mediterranean region suffer a structural water scarcity (Noto *et al.*, 2023) imposed by the periodic droughts and by the expansion of water demands from agriculture and other sectors of society. With the advance of climate change, higher temperatures and changing precipitation patterns, the demand for water by the agricultural sector has increased. It has started to affect, not only areas where irrigation has always been an essential element of agricultural production (southern Europe) but also areas traditionally considered not irrigated such as some areas of central and northern Europe (Zajac *et al.*, 2022).

Considering these issues, to protect water resources and their integrity for future use, attention could be focused to the so-called Advisory Irrigation Services (IASs), able to bring innovation of irrigation technology and to raise water-use efficiency. The IASs refer to the measures and support services provided to the irrigation sector with the aim of improving its performance. Some keys IAS' activities are irrigation scheduling and distribution network and on-farm irrigation systems. Water management decisions are based not only on technical issues, but also on an economic and socio-political (Altobelli *et al.*, 2021) context, which changes according to geographical areas. Techniques and management tools that allow the application of water in a uniform manner and in pre-determined quantities to meet in part or totally the crop needs have been developed. The current low level of irrigation performance is therefore a paradoxical situation. Despite its advantages, irrigation technology either has not been adopted by farmers or, in the case where the hardware has been introduced, its adoption has not met the expectations (FAO, 2002). Investigation about the priorities of final users becomes very important when considering the large gap (Smith *et al.*, 2002) between the innovations achieved in the irrigation sector and the limited adoption of these technologies by farmers. This work provides an integrated approach to the decision-making process necessary to deliver efficient IAS; presents an application of a multiple-criteria decision analysis - the Analytic Hierarchy Process (AHP) - which involves the conversion of a linguistic judgement of farmers and carry out a ranking of weights of criteria by case study, through ranking groups and associated properties between farmers' profile. Furthermore, the present study tackles a decision-making process, aimed to improve the use of IAS, evaluating the preferences expressed by stakeholder.

Materials and Methods

As shown in Figure 1, the current research is organized as a four-phases methodology. Questionnaires were addressed to a total of 120 farmers (users of IAS), distributed among the study areas as follows: Campania (IT): 40; Limburg (NL): 7; Kujawsko-pomorskie (PL): 53, and Andalusia (ES): 20. The questionnaire was structured in four sections. In the present work, only the first two sections will be analyzed. The first section was focused on general information: main activity, gender, age, educational level, farm's location, farm surface, farm management, cultivated crop, main irrigation systems, sales channels etc.. The section 2 is named "Improving water use efficiency and the use of Advisory Services" and it collects the data used for the AHP application. In this section, farmers, evaluated the preference among a set of criteria (Table 1).

We asked farmers to make a comparison and express their own preference, among the C1 to C5 criteria using the Saaty's scale 1 – 9. In particular, the questions are formulated as: "According to you, is it more important C1 than C2, and by how much?" The pairwise comparison at the core of the AHP methodology is easily identifiable within the structure of the questions, as it will be discussed below.

The results of questionnaires dispensed to the users of IAS were analyzed and then the given priorities were evaluated by the AHP to determine the weights of the five assessment criteria and finally to select the one with highest value. The AHP was developed by Thomas L. Saaty in the 1970s (Saaty, 2008; Saaty and Vargas, 2012), who, by clarifying the relation between thinking and decision making, conceived the model.

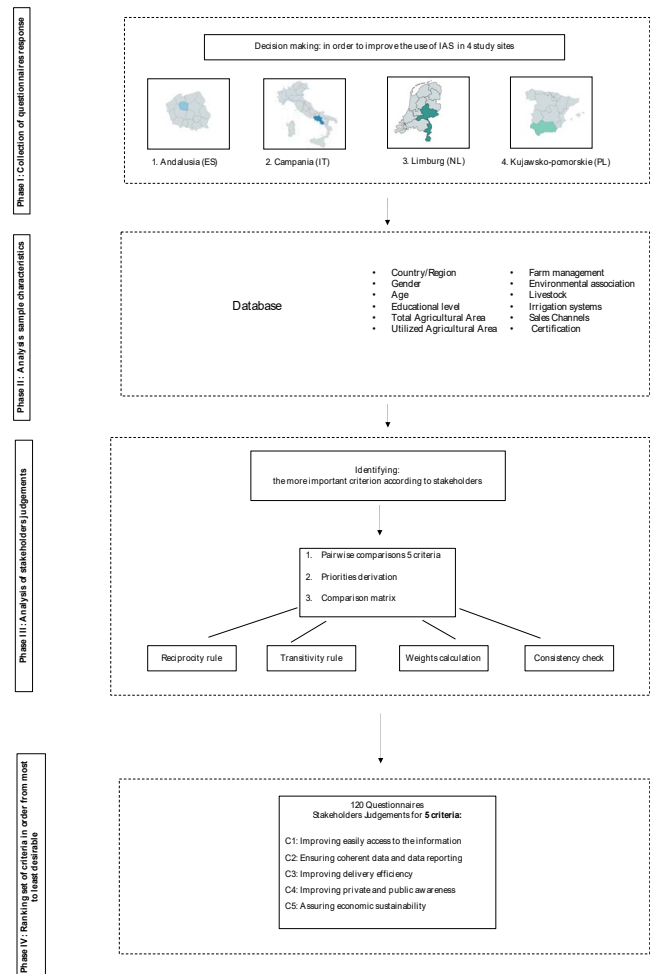


Fig. 1- Research methodology.

Fig. 2- Metodologia della ricerca

In the following stage, we proceeded with the aggregation of individual priorities in each study area and in each interest group, by relating the preferences expressed by stakeholders and thoroughly analyzing the key information provided by interviews, up to the construction of a database. Subsequently, a mathematical aggregation of the weights of each criterion was done using the geometric mean method. Finally, the weights are grouped according to the decision makers profiles.

Tab. 1 - Description of AHP criteria.

Tab. 1- Descrizione dei criteri AHP

Type of criteria	Description
C1. Improving easily access to the information	Refers to the ease of access to information for farmers, either through electronic information (sms, email, etc.), more traditional communication systems, technical operators and journals, newspapers etc.
C2. Ensuring coherent data and data reporting.	Refers to the ability to implement an IAS based on high quality data providing valuable technical information to farmers.
C3. Improving delivery efficiency	Refers to ability to ensure prompt and constant delivery of information to farmers.
C4. Improving private and public awareness	Refers to improving public awareness and preparedness by informing the public about the risks and consequences in cases of excessive use of water for irrigation related to environmental and economic phenomena (e.g., water scarcity, conflict for use of water with others economic sectors).
C5. Assuring economic sustainability	Refers of cost of IAS that should be economically justified (i.e., economically affordable).

Results

As shown in Table 2 , first results of the study demonstrated that the decision criterion with higher weight and therefore more important is the criterion C5- Assuring economic sustainability, which refers of cost of IASs that should be economically justified. (i.e. economically affordable).

Tab. 2- Overall results of the four study areas

Tab. 2- Risultati complessivi delle quattro aree di studio

	Criteria	Weights of criteria	Final ranking
Valuate possible allocation of Adoption Options to IAS	C1: Improving easily access to the information	0,207	3
	C2: Ensuring coherent data and data reporting	0,218	2
	C3: Improving delivery efficiency	0,196	4
	C4: Improving private and public awareness	0,148	5
	C5: Assuring economic sustainability	0,231	1

Hereafter the most relevant results of stakeholders' preferences are provided for some of the pilot areas.

Italy: The results show that C5- Assuring economic sustainability “improving private and public awareness” and “assuring economic sustainability” are the most preferred options.

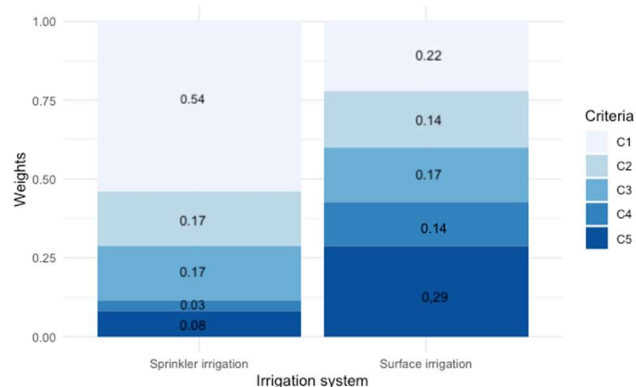


Fig. 3- Weights of criteria grouped according to irrigation systems in Limburg (NL). C1-Easily improve access to information C2-Ensuring coherent data and data reporting, C3-Improve delivery efficiency, C4-Improve public and private awareness, C5-Ensuring economic sustainability. Fig. 2- Pesi dei criteri raggruppati in base ai sistemi di irrigazione in Limburg (NL). C1-Migliorare facilmente l'accesso alle informazioni C2-Garantire dati coerenti e reporting dei dati, C3-Migliorare l'efficienza della consegna, C4-Migliorare la consapevolezza pubblica e privata, C5-Garantire la sostenibilità economica

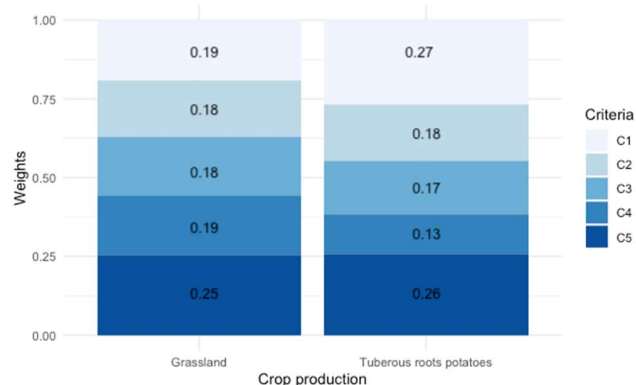


Fig.3- Main farm activity: aggregation weights of criteria in The Netherlands. C1-Easily improve access to information C2-Ensure coherent data and data reporting, C3-Improve delivery efficiency, C4-Improve public and private awareness, C5-Ensure economic sustainability. Fig.3- Attività principale dell'azienda agricola: pesi di aggregazione dei criteri nei Paesi Bassi. C1-Migliorare facilmente l'accesso alle informazioni C2-Garantire dati coerenti e reporting dei dati, C3-Migliorare l'efficienza della consegna, C4-Migliorare la consapevolezza pubblica e privata, C5-Garantire la sostenibilità economica

The Netherlands: the preference of farmers adopting Surface irrigation is C5- Assuring economic sustainability.

Poland: results show that stakeholders prefer Improving delivery efficiency (C3), that refers to the ability to ensure prompt and constant delivery of information to farmers.

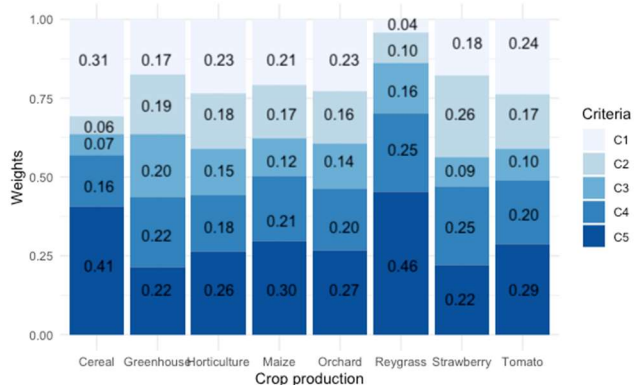


Fig. 4- Weights of criteria grouped according to the dominant farm activity in Campania (IT). C1-Easily improve access to information C2-Ensuring coherent data and data reporting, C3-Improve delivery efficiency, C4-Improve public and private awareness, C5-Ensuring economic sustainability.

Fig. 4- Pesi dei criteri raggruppati secondo l'attività agricola dominante in Campania (IT). C1-Migliorare facilmente l'accesso alle informazioni C2-Garantire dati coerenti e reporting dei dati, C3-Migliorare l'efficienza della consegna, C4-Migliorare la consapevolezza pubblica e privata, C5-Garantire la sostenibilità economica

Discussion and Conclusion

The implementation and management of an efficient irrigation system have to take in consideration the influence of many factors such as crop density, growing conditions, water quality or topography. Additionally, it is important to consider whether judgments are representative of farmers or decision makers experience (Srdjevic and Obradovic, 1997; Srdjevic, 2005). For this reason, part of the present study has been focused on the investigation of some crucial aspects concerning farmers' work: the irrigation systems adopted, the main farm activity, and to aggregate the relative weights according to the characteristics of stakeholders involved in the four agricultural sites. These results can be used as data/information exploitable in establishing common professional, social and political environment where research experts could make decisions to improve irrigation management by using advanced scientifically sound techniques.

References

Altobelli, F. *et al.* (2021) 'Irrigation Advisory Services: Farmers preferences and willingness to pay for innovation', *Outlook on Agriculture*, 50(3), pp. 277–285.

Bergez, J.-E. and Nolleau, S. (2003) 'Maize grain yield variability between irrigation stands: a theoretical study', *Agricultural Water Management*, 60(1), pp. 43–57.

Cabello Villarejo, V. and Madrid Lopez, C. (2014) 'Water use in arid rural systems and the integration of water and agricultural policies in Europe: The case of Andarax river basin', *Environment, Development and Sustainability*, 16(4), pp. 957–975. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10668-014-9535-8>.

Ciaian, P., Kancs, d'Artis and Espinosa, M. (2018) 'The Impact of the 2013 CAP Reform on the Decoupled Payments' Capitalisation into Land Values', *Journal of Agricultural Economics*, 69(2), pp. 306–337. Available at: <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12253>.

Feike, T. *et al.* (2017) 'Determinants of cotton farmers' irrigation water management in arid Northwestern China', *Agricultural Water Management*, 187, pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2017.03.012>.

Khor, L.Y. and Feike, T. (2017) 'Economic sustainability of irrigation practices in arid cotton production', *Water Resources and Economics*, 20, pp. 40–52. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.WRE.2017.10.004>.

Mannini, P., Genovesi, R. and Letterio, T. (2013) 'IRRINET: large scale DSS application for on-farm irrigation scheduling', *Procedia Environmental Sciences*, 19, pp. 823–829.

Montoro, A., López-Fuster, P. and Fereres, E. (2011) 'Improving on-farm water management through an irrigation scheduling service', *Irrigation Science*, 29, pp. 311–319.

Noto, L. V. *et al.* (2023) 'Climate Change in the Mediterranean Basin (Part II): A Review of Challenges and Uncertainties in Climate Change Modeling and Impact Analyses', *Water Resources Management* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03444-w>.

Richards, Q.D., Bange, M.P. and Johnston, S.B. (2008) 'HydroLOGIC: An irrigation management system for Australian cotton', *Agricultural Systems*, 98(1), pp. 40–49.

Saaty, T.L. (2008) *Decision making with the analytic hierarchy process*, *Int. J. Services Sciences*.

Saaty, T.L. and Vargas, L.G. (2012) *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Springer US (International Series in Operations Research & Management Science). Available at: <https://books.google.it/books?id=FJLWhG5mWncC>.

Smith, M. (1992) *CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management*. Food & Agriculture Org.

Smith, M *et al.* (2002) *Irrigation Advisory Services and Participatory Extension in Irrigation Management Workshop organised by FAO-ICID Irrigation Advisory Services for effective water use: a review of experiences Irrigation Advisory Services for Effective Water Use A Review of Experiences*.

Srdjevic, B. (2005) 'Combining different prioritization methods in the analytic hierarchy process synthesis', *Computers & Operations Research*, 32(7), pp. 1897–1919.

Srdjevic, B. and Obradovic, D. (1997) 'Reliability and risk in agricultural irrigation', *IFAC Proceedings Volumes*, 30(26), pp. 97–102.

Srinivasan, R., Arnold, J.G. and Jones, C.A. (1998) 'Hydrologic modelling of the United States with the soil and water assessment tool', *International Journal of Water Resources Development*, 14(3), pp. 315–325.

Zajac, Z. *et al.* (2022) 'Estimation of spatial distribution of irrigated crop areas in Europe for large-scale modelling applications', *Agricultural Water Management*, 266. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107527>.

CAMBIAMENTO CLIMATICO E USO RAZIONALE DELL'ACQUA

CLIMATE CHANGE AND CLEVER WATER USE

Gioele Chiari^{1*}, Stefano Anconelli¹, Tommaso Letterio¹, Domenico Solimando¹, Salvatore Gentile¹, Francesco Cavazza¹, Raffaella Zucaro¹, Roberto Genovesi¹

¹ Consorzio di bonifica di secondo grado per il canale Emiliano Romagnolo
* chiari@consorzioecr.it

Abstract

IRRIFRAME is an expert system for Irrigation scheduling backed by the results of more than 60 years of research on plant/water relation and sustainable irrigation management. The project is carried out with the aim to progressively reduce water use for irrigation without harming farmers' income while saving water, thus optimizing water productivity. IRRIFRAME is among the tools provided to farmers in the frame of Emilia-Romagna Action Plan for Rural Development 2007-2013, since 2012 ANBI is in charge of the system diffusion at national scale. The service is web and GIS based, freely available and provides an 'irrigation and fertigation advice' for a large number of water demanding crops. It make use of several data sources, such as meteorological and soil data from local services, farmer data (soil moisture sensor, weather stations, drone images, etc...) and crop parameters as defined by CER, including application of the most effective crop tailored irrigation strategy. The crop water balance is calculated at a daily step, at field scale and for the crop characteristic, simulated or input by the farmer.

Parole Chiave

Cambiamento Climatico, Acqua, Irrigazione, Sostenibilità, Siccità

Keywords

Climate change, Water, Irrigation, Sustainability, Drought

Introduzione

A partire dagli anni '90 il Centro Ricerche Irrigue del Consorzio di bonifica di secondo grado per il Canale Emiliano Romagnolo (CER), ha intuito le potenzialità del WEB per lo sviluppo di servizi di assistenza tecnica alle colture, capaci di superare il diffuso empirismo della pratica irrigua. Sull'esperienza del servizio Videotel e delle attività sperimentali sull'uso razionale dell'acqua, avviate nel 1943, fu creato il servizio web Irrinet, grazie al supporto della Regione Emilia-Romagna. Nel 2012, con l'impegno di ANBI, il servizio è stato reso disponibile su tutto il territorio nazionale col nome di Irriframe. Attualmente il servizio è attivo su 7 milioni di ettari ed utilizzato annualmente da più di 7.000 utenti.

Materiali e Metodi

Le attività sperimentali condotte da CER hanno permesso di verificare che una gestione irrigua razionale basata su un buon modello di bilancio idrico, rispetto a quella di un agricoltore esperto, determina un'aumento della PLV, spesso a fronte di un uso minore di risorsa irrigua, aumentando il Water Use Efficiency fino al 50%.

- Il modello di bilancio idrico

Il consiglio irriguo specifico per coltura, fornito da IRRIFRAME, è basato sulla stima quotidiana del quantitativo d'acqua presente nello strato di terreno interessato dalla coltura. Il calcolo valuta e misura tutti gli ingressi e tutte le perdite d'acqua nel sistema suolo-pianta-atmosfera.

Perdite:

- T Traspirazione dalle foglie
- E Evaporazione dalla superficie del terreno
- R Ruscellamento superficiale (acqua di pioggia non infiltrata)
- P_p Percolazione profonda (acqua infiltrata al di sotto dello strato radicale utile)

Ingressi:

- P Pioggia
- R_f Risalita capillare da falda ipodermica
- Δu Acqua contenuta nel terreno utilizzata

Terreno

Il bilancio idrico utilizzato dal servizio IRRIFRAME è di tipo capacitivo: il terreno viene considerato il serbatoio nel quale possono essere accumulati gli apporti idrici. Ogni suolo permette un diverso accumulo d'acqua in base alla sua granulometria ed alla profondità dell'apparato radicale. Apporti superiori alla capacità idrica di campo sono considerati come perdite dal sistema.

Grazie al sistema GIS, IRRIFRAME può fornire automaticamente molte delle informazioni necessarie al calcolo del bilancio idrico. Tra queste anche quelle relative alla tipologia di terreno, laddove sia disponibile una carta dei suoli georeferenziata. In assenza di substrati informativi georeferenziati è l'utente a dover inserire le informazioni necessarie. Il Sistema esperto impiegherà tali valori per calcolare le costanti idrologiche di quel terreno e stabilire la

capacità del serbatoio-terreno da considerare nel bilancio idrico.

Nel modello di bilancio idrico di IRRIFRAME si tiene inoltre in considerazione la dinamica della profondità del terreno esplorato dalle radici, in funzione della crescita dell'apparato radicale variabile da coltura a coltura, tenendo conto che la capacità del terreno di accumulare e cedere acqua è ovviamente funzione nel tempo della profondità ed efficienza delle radici di ogni coltura.

Sulla base del trinomio suolo/coltura/fase fenologica IRRIFRAME individua un valore minimo di contenuto d'acqua nel terreno sotto il quale si rischiano cali di resa e su questo valore determina la soglia inferiore, raggiunta la quale è opportuno irrigare ed una soglia superiore di contenuto idrico che si vuole raggiungere mediante l'irrigazione per compensare le perdite per evapotraspirazione della coltura.

Nel modello, la distanza tra soglia inferiore e quella superiore corrisponde al volume di irrigazione: questa verrà quindi impostata in maniera adeguata e differenziata per i diversi sistemi irrigui. Soglie distanti per volumi ampi e tipici dell'aspersione e soglie ravvicinate per i piccoli e ravvicinati volumi della goccia.

Le soglie tengono in considerazione le specifiche sensibilità allo stress idrico di ciascuna coltura.

Stima dell'evapotraspirazione delle colture

L'evapotraspirazione determina l'assorbimento radicale dell'acqua e consente la regolare fotosintesi, essa è quindi una perdita d'acqua favorevole per la produttività delle colture.

Livelli insoddisfacenti di acqua disponibile alla coltura, determinano l'attuazione di meccanismi di riduzione delle perdite d'acqua, con chiusura degli stomi ed una parallela limitazione della fotosintesi, con conseguente riduzione della produttività della coltura.

La stima dell'evapotraspirazione delle colture del modello IRRIFRAME è impostata secondo i criteri proposti dalla FAO nel Quaderno 56 "Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirement", con gli opportuni aggiustamenti e le semplificazioni messi a punto in ambienti italiani da CER.

In IRRIFRAME il consumo idrico delle colture per evapotraspirazione (ETc) è calcolato a partire dal rapporto tra ET_o e K_c.

$$ETc = ET_o \times Kc$$

La disponibilità di dati meteorologici in tempo reale permette a IRRIFRAME di calcolare l'evapotraspirazione di riferimento ET_o.

$$ET_o = 0,0023 \times (T_{med} - 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times (Ra \times 0,408)$$

dove Ra è un valore di radiazione tabellare riferita alla latitudine del sito.

Evapotraspirazione – per calcolare i consumi idrici delle colture si applica la teoria evaporimetrica che intende calcolare complessivamente sia il trasferimento di acqua dal terreno all'atmosfera per evaporazione dal terreno, sia per traspirazione delle piante. Il processo viene simulato evidentemente per stimare il flusso evapotraspirativo. I passaggi effettuati sono i seguenti:

Evapotraspirazione potenziale massima - calcolata da quella di riferimento, tramite la formula climatica di Hargreaves spazializzata su di una griglia territoriale di 2,5 km di lato a coprire l'intero territorio di pianura della regione. A tale valore di partenza si applica, quindi, il kc tipico di quella coltura e di quella fase fenologica, con valori desunti dal quaderno 24 della FAO, corretti, laddove necessario, dall'attività sperimentale condotta sul territorio regionale dal CER, per ottenere infine il dato di evapotraspirazione massima. Per evitare incongrui salti tra una fase fenologica e l'altra, il valore giornaliero del kc viene interpolato linearmente tra le fasi.

Evapotraspirazione effettiva – intesa come quantità di acqua effettivamente perduta dal sistema suolo-cultura-atmosfera e dipendente dalle condizioni idriche del suolo. A valori di umidità ottimali la pianta non incontra alcuna difficoltà nell'estrarre dal suolo l'acqua e la traspirazione è massima, viceversa, asciugandosi il terreno aumenta lo sforzo che la pianta deve compiere e la traspirazione si riduce. In accordo con la teoria esposta nel quaderno 24 della FAO, è stata individuata, per ogni coltura, il valore di umidità del suolo (Uz) al di sotto del quale, la pianta inizia a ridurre la propria traspirazione.

Misurazione delle piogge

I dati relativi alle precipitazioni orarie comunicati al sistema IRRIFRAME permettono di stimare la pioggia utile, cioè quella che si è effettivamente infiltrata nel terreno, al netto di quella persa per ruscellamento.

Il sistema esperto IRRIFRAME permette agli agricoltori dotati di stazione meteorologica aziendale di utilizzare i propri dati, anche in maniera automatica.

Stima dell'apporto di falda ipodermica

La risalita d'acqua dalle falde superficiali è un altro ingresso d'acqua da valutare attentamente nel bilancio idrico delle colture. La sottovalutazione del fenomeno e della sua importanza per l'alimentazione idrica delle piante porta all'effettuazione di un numero di irrigazioni superiore a quello necessario, con spreco di risorse idriche preziose.

L'altezza di risalita capillare utile alle piante può variare dai 20-25 cm nei terreni fortemente sabbiosi sino agli 80-100 cm di quelli argillosi; la modestia della risalita da falda nei suoli sciolti è però in parte compensata dal maggior approfondimento delle radici che generalmente si realizza su tali terreni.

Il sistema esperto IRRIFRAME considera l'apporto di falda per tre tipologie di suolo e per gruppi di colture con apparati radicali di differente profondità, stimando la frazione di

evapotraspirazione del giorno soddisfatta per risalita capillare.

I dati di falda possono esser comunicati in maniera automatica dai detentori del dato (spesso le Regioni) oppure dagli utenti, in modalità manuale.

Consiglio irriguo

Per ciascun appezzamento omogeneo per tipo di suolo e coltura, IRRIFRAME calcola il bilancio idrico e fornisce un consiglio irriguo secondo lo schema seguente.

Fase calcolo bilancio idrico

- Calcola la capacità di campo del serbatoio-terreno
- Calcola tutti gli ingressi e le perdite dal sistema colturale
- Simula la crescita della coltura ed il raggiungimento di fasi fenologiche
- Simula la crescita dell'apparato fogliare e lo strato di suolo esplorato
- Simula lo sviluppo dei coefficienti colturali durante la coltivazione
- Stima l'eventuale stato di stress idrico della coltura.
- Stima l'apporto da falda ipodermica.
- Calcola il flusso dell'acqua attraverso i diversi strati del suolo.
- Calcola l'esatto volume d'acqua irrigua necessaria per lo strato di terreno occupato dalle radici delle colture.
- Calcola il volume irriguo ed il momento ideale di irrigazione in relazione alla coltura, al suolo ed al sistema irriguo impiegato.
- Verifica la conformità del volume e del momento d'intervento irriguo con la disponibilità d'acqua consortile nell'azienda-utente, ed allinea la risposta.

Fase di consiglio irriguo

- Indica quando irrigare ogni coltura inserita dall'agricoltore nelle pagine di assegnazione parametri
- Indica il volume con cui irrigare la coltura in base all'impianto irriguo assegnato.
- Formula un consiglio irriguo allineato con le disponibilità d'acqua del distretto.

L'utente può applicare il consiglio irriguo secondo la propria esperienza o le proprie disponibilità.

Risultati e Discussione

I cambiamenti climatici in atto, mettono in discussione il metodo irriguo empirico, perché l'esperienza, basata su quanto accaduto negli anni passati, fornisce ben pochi elementi su cui basare le strategie irrigue nel momento attuale, che tanto si discosta dal passato.

Per contrastare gli effetti nefasti del cambiamento climatico e fornire agli agricoltori indicazioni applicabili che favoriscano la sostenibilità del sistema agricolo, diventa quindi, fondamentale, mettere a disposizione un DSS, come IRRIFRAME, capace di calcolare la disponibilità sulla base di quanto realmente sta accadendo nell'appezzamento oggetto di stima. Questo evita eccessi o carenze idriche, a garanzia delle produzioni.

Negli ultimi vent'anni l'applicazione del modello di bilancio idrico ha saputo dimostrare di esser in grado di produrre

risparmi idrici nell'ordine del 25% e di poter aumentare le produzioni del 15%, dimostrando così la propria capacità di contribuire alla sostenibilità del settore agricolo.

Inoltre, il risparmio idrico si riflette beneficamente sul territorio, ottenendo:

- minori costi energetici di sollevamento dell'acqua;
- minor impatto sui corsi idrici naturali, e sull'ambiente;
- riduzione della lisciviazione di nutrienti nelle acque superficiali e profonde, con diminuzione delle conseguenze negative dell'eutrofia;
- attenuazione ingressioni saline nel sottosuolo costiero;
- contrasto all'abbassamento delle falde freatiche;
- attenuazione della subsidenza del territorio;
- riduzione dei conflitti per l'uso tra i settori idroesigenti.

Conclusioni

IRRIFRAME è un sistema informativo gratuito, semplice, intuitivo e di facile utilizzo, creato per consentire agli agricoltori di decidere quando e quanto irrigare, per più di 50 colture differenti. Questo ne ha permesso un'ampia diffusione e quindi di portare a scala territoriale i benefici ottenuti sul singolo appezzamento. Una diffusione molto maggiore, al quale stanno lavorando i consorzi di bonifica di Italia, potrà permettere di aumentare i benefici territoriali dell'uso razionale dell'acqua, soprattutto in relazione alla scarsità della risorsa idrica che sta colpendo molti areali fertili d'Italia.

Bibliografia

- Battilani, A., Mannini, P., 1992. The influence of water table depth and rootstock on growth habit of peach. *Acta Hort.* 315:23-30
- Battilani, A., Mannini, P., 1993. Effects of water table on potato crop growth and yield. *Acta Hort.* 335:405-411
- Battilani, A., Mannini, P., 1994. Influence of water table depth on the yield and quality of processing tomatoes. *Acta Hort.* 376:295-298
- Battilani, A., Ventura, F., 1996. Influence of water table, irrigation and rootstock on transpiration rate and fruit growth of peach trees. *Acta Hort.* 449:521-528
- Danuso F., Contin M., Grani M. e Giovanardi R. - *Bidrico Manuale d'uso e di riferimento*
- Doorembos J. e Pruitt W.O. 1977. Guidelines for predicting Crop water requirement. *FAO Irrigation and Drainage Paper n.24*
- Driessen P.M. 1986 – The water balance on the soil. In "Modelling of agricultural production: weather, soil and crops (H. Van Keulen e J. Wolf, eds) PUDOC, Wageningen
- Rossi Pisa, P., Ventura, F., Mannini, P. e Battilani, A., 1991. Determinazione dello stato idrico di soia e pesco in relazione alla profondità di falda. *Atti del convegno Acc. Georgofili "Monitorare l'ambiente agrario e forestale"*, Porto Conte (SS): 931-944.

ESIGENZE IRRIGUE DEL NOCCIOLO NELLA REGIONE ABRUZZO

IRRIGATION WATER REQUIREMENTS FOR HAZELNUT GROWING IN THE ABRUZZO REGION.

Bruno Di Lena ¹, Daniela Farinelli ², Alessandra Vinci², Gabriele Curci ³

¹Regione Abruzzo – Dipartimento Agricoltura. Ufficio direttiva qualità dei suoli e servizi agrometeo. bruno.dilena@regione.abruzzo.it

²Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Università degli studi di Perugia. daniela.farinelli@unipg.it; alessandra.vinci@unipg.it

³Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche, Università degli Studi dell'Aquila, L'Aquila. gabriele.curci@univaq.it

Abstract

The hazelnut cultivation in hills of Abruzzo region requires water irrigation since precipitation does not meet the water requirement of the species and summer temperatures are increasing as well as ET_0 . The study, carried out on ten locations, shows how the irrigation water requirements for the period June – August in loam soil and silty clay soil varied from minimum value of 95 mm to a maximum value of 150 mm, with small differences according to the area.

Parole chiave

nocciolo, fabbisogni irrigui, Abruzzo

Keywords

hazelnut, water irrigation requirements, Abruzzo

Introduzione

Le superfici coltivate a nocciolo in Italia sono significativamente cresciute negli ultimi anni sulla spinta della forte richiesta operata dalle industrie di trasformazione. L'Istat certifica che tra il 2010 e il 2018 la superficie coltivata a nocciolo è passata da 70.464 ettari a 84.306 ettari, con una crescita del 19,6% mentre la produzione è passata da 936.444 q.li a 1.326.990 q con un incremento del 41%.

Nella regione Abruzzo sono presenti allo stato attuale pochi ettari; pur tuttavia si registra un forte interesse nei confronti della specie grazie alla sua redditività e elevata meccanizzazione.

Uno studio recente (Di Lena et al. 2022) ha permesso di determinare le aree maggiormente adatte alla coltivazione del nocciolo sulla base dei parametri climatici, in particolare Vasto, Penne, Santo Stefano, Isola del Gran Sasso e Caramanico sono risultate adatte; invece, Chieti, Montazzoli e Guardiagrele moderatamente adatte; Scerni, Lanciano, Ortona, Pescara; Catignano, Giulianova e Nereto, poco adatte. Uno dei fattori limitante la redditività della coltivazione del nocciolo in Abruzzo è risultato la piovosità; infatti, la piovosità media regionale si colloca al di sotto degli 800 mm, in particolare nelle località ubicate lungo la fascia costiera, per le quali l'intervento irriguo è condizione indispensabile per ottenere produzioni soddisfacenti (Di Lena et al., 2022). Questo perché le esigenze idriche della specie richiedono almeno 800 mm di pioggia ben distribuiti durante l'anno (Vinci et al., 2023).

Nella regione Abruzzo le precipitazioni si concentrano per oltre il 50% nel periodo autunno invernale, esponendo la pianta a periodi siccitosi durante il periodo primaverile estivo, quando si ha la crescita dei nuovi germogli e dei frutti. Altri parametri climatici critici sono l'incremento della sommatoria dei gradi giorno, su base 10°C, e del numero dei giorni con temperature massime superiori a 30°C, i quali

giustificano l'aumento della domanda evapotraspirativa dell'ambiente abruzzese.

Ciò premesso, il presente lavoro analizza i fabbisogni irrigui netti del nocciolo da frutto in alcune località della fascia collinare litoranea in un contesto di cambiamento climatico

Materiali e Metodi

Lo studio climatico sulle esigenze irrigue del nocciolo è stato condotto utilizzando i dati termo-pluviometrici giornalieri rilevati dal Servizio Idrografico della regione Abruzzo in 10 località (Nereto, Giulianova, Penne, Pescara, Catignano, Chieti, Ortona, Lanciano, Scerni e Vasto) nel periodo 1974-2021 (Fig. 1).

Le serie storiche sono state sottoposte a rigorosi controlli di qualità e di omogeneizzazione dei dati, come indicato da Curci *et al.* (2021).

I fabbisogni irrigui netti del nocciolo sono stati determinati attraverso un bilancio idrico a scansione giornaliera applicato, per ciascun anno della serie storica, nel periodo 1° aprile-30 agosto.

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - Pu_i - I_i + ET_{c,i} + DP_i$$

Dove:

$D_{r,i}$ = contenuto idrico nella zona radicale del giorno (mm)

$D_{r,i-1}$ = contenuto idrico nella zona radicale del giorno precedente (mm)

Pu_i = pioggia utile del giorno (mm)

$ET_{c,i}$ = evapotraspirazione massima della coltura del giorno (mm)

DP_i = perdita di acqua per percolazione profonda (mm) al superamento della capacità di campo

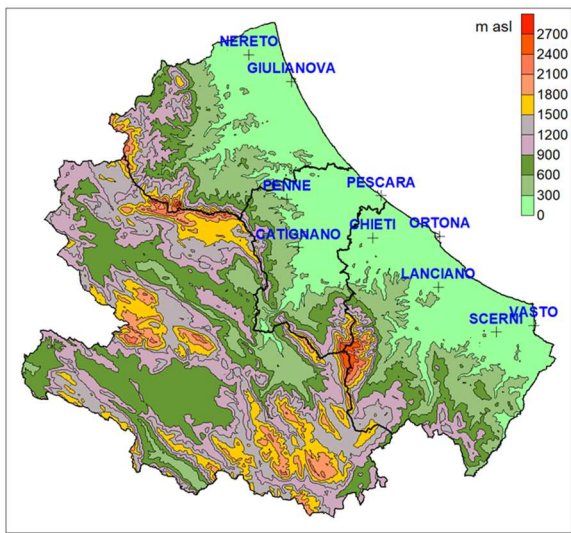


Fig.1 - Mappa della Regione Abruzzo con i nomi delle 10 stazioni meteorologiche e con in alto a destra le classi di altitudine.

Fig.1 – Map of Abruzzo Region with the names of the 10 meteorological stations and on the upper right the altitude classes.

Ai fini del calcolo delle piogge utili (Pu_i) non sono state considerate quelle inferiori a 5 mm, mentre per i valori superiori a tale soglia è stata utilizzata una percentuale pari all'80% (Gucci, 2012).

L'evapotraspirazione massima della coltura, è stata determinata con la seguente equazione:

$$ET_{c,i} = Eto \times Kc$$

dove:

$ET_{c,i}$ = evapotraspirazione massima della coltura del giorno (mm)

Eto = evapotraspirazione di riferimento in mm al giorno

Kc = coefficienti colturali mensili: aprile = 0,3; maggio = 0,4; giugno=0,62; luglio =0,70; agosto = 0,55; settembre = 0,35 (Silvestri *et al.*, 2021).

L'evapotraspirazione di riferimento giornaliera è stata determinata con la formula di Hargreaves- Samani (Hargreaves e Samani 1985).

$$Eto = 0.0023 * (Tmed + 17.8) * (Tmax - Tmin)^{0.5} * Rad$$

Dove Tmed = temperatura media

Tmax = temperatura massima

Tmin = temperatura minima

Rad= radiazione solare extraterrestre in mm/giorno

Le irrigazioni sono state considerate applicate quando la riserva idrica scendeva nel suolo al di sotto del 40% dell'acqua disponibile (Tombesi e Rosati, 1996) secondo le tipologie di terreno indicate in Tabella 1, scelte come le più comuni.

Il volume di terreno esplorato dalle radici del nocciolo è stato considerato pari a 0,5 m (Portarena *et al.*, 2022).

Per il terreno franco limoso, dotato di una maggiore capacità di ritenzione idrica, si è ipotizzato di somministrare, per ogni intervento irriguo, un volume più alto, pari a 14,7 mm, a differenza di quello franco dove sono stati previsti apporti più contenuti, pari a 12,7 mm.

Tab.1 - Acqua disponibile e soglia per l'intervento irriguo.
Tab.1 - Available water and threshold for the application of irrigation

Tipo di terreno	Acqua disponibile in 0,5 metri (mm)	Soglia per l'intervento irriguo (mm)
Franco	85	51
Franco limoso	110	63

Considerando che il nocciolo può essere coltivato restituendo solo il 75% dell'evapotraspirazione massima (Tombesi e Rosati, 1996), i fabbisogni irrigui netti sono stati ridotti di conseguenza, mentre gli eventuali apporti idrici di falda non sono stati considerati per i mesi estivi.

Sono state calcolate le statistiche descrittive dei fabbisogni irrigui netti rilevati nei periodi: giugno-agosto (periodo di sviluppo della vegetazione e dei frutti) e luglio agosto (periodo di sviluppo e maturazione dei frutti) per le tipologie di suolo considerate,

Il test non parametrico di Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) è stato utilizzato per valutare i trend stagionali dei fabbisogni irrigui netti mentre la pendenza delle rette interpolanti i dati (β) è stata calcolata con lo stimatore non parametrico Theil-Sen (Theil, 1950; Sen.; 1968). Per l'applicazione del test di Mann-Kendall e per il calcolo dello stimatore non parametrico Theil-Sen sono state impiegate rispettivamente le librerie "Zyp" e "summary Kendall" contenute nel software R (<http://www.r-project.org>).

Risultati e Discussione

Le statistiche descrittive dei fabbisogni irrigui netti mostrano una significativa variabilità territoriale (Fig. 2 – Fig. 4). Nel suolo franco i valori mediani del periodo giugno -agosto si collocano nell'intervallo compreso tra il minimo di 95 mm di Chieti e il massimo di 152 mm di Pescara (Fig. 1). Per lo stesso periodo nel terreno franco limoso i valori si collocano nell'intervallo compreso tra il minimo di 99 mm di Penne e il massimo di 147 mm di Pescara (Fig. 3). Per quanto concerne il periodo luglio agosto, nel terreno franco i valori mediani si collocano nell'intervallo compreso tra il minimo di 76 mm di Penne e il massimo di 104 mm di Pescara (Fig. 2), mentre in quello franco limoso si passa dai 77 mm di Penne ai 101 mm di Pescara (Fig. 4). L'analisi dei trend mostra in generale un incremento nel tempo dei fabbisogni irrigui netti; pur tuttavia esso risulta più marcato nel terreno franco limitatamente al periodo giugno agosto (Fig. 6).

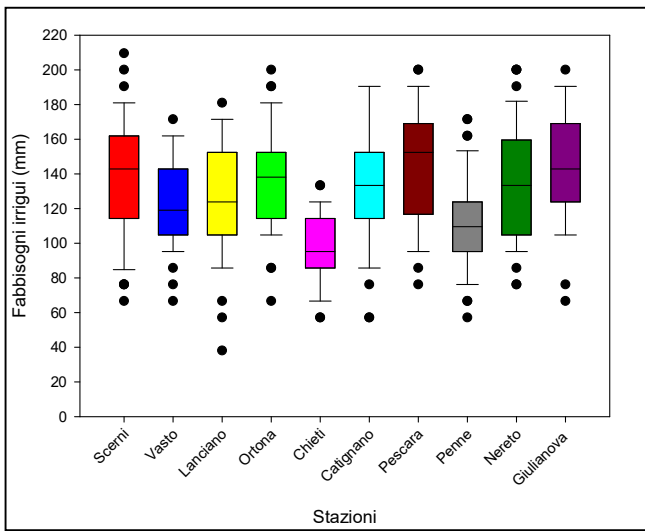


Fig.2 – Box-plot dei fabbisogni irrigui rilevati nel periodo giugno – agosto per ogni stazione e per il suolo franco. Le linee (barre di errore) sopra e sotto il riquadro indicano il 90° e il 10° percentile. La linea orizzontale mostra il valore mediano. I simboli indicano i dati estremi.

Fig.2 – Box plots of irrigation water requirements from June to August per each meteorological station and per loam soil. Whiskers (error bars) above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles. The horizontal line shows the median value. Symbols display extreme data points.

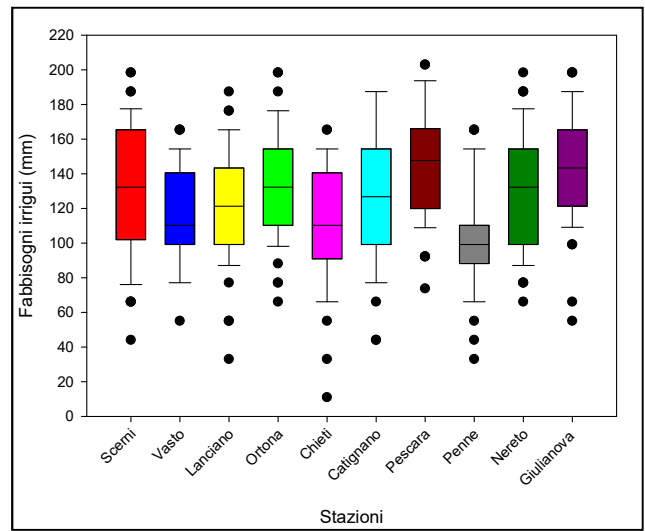


Fig.4 – Box-plot dei fabbisogni irrigui rilevati nel periodo giugno – agosto per ogni stazione e per il suolo limoso. Le linee (barre di errore) sopra e sotto il riquadro indicano il 90° e il 10° percentile. La linea orizzontale mostra il valore mediano. I simboli indicano i dati estremi.

Fig.4 – Box plots of irrigation water requirements from June to August per each meteorological station and per silty clay soil. Whiskers (error bars) above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles. The horizontal line shows the median value. Symbols display extreme data points.

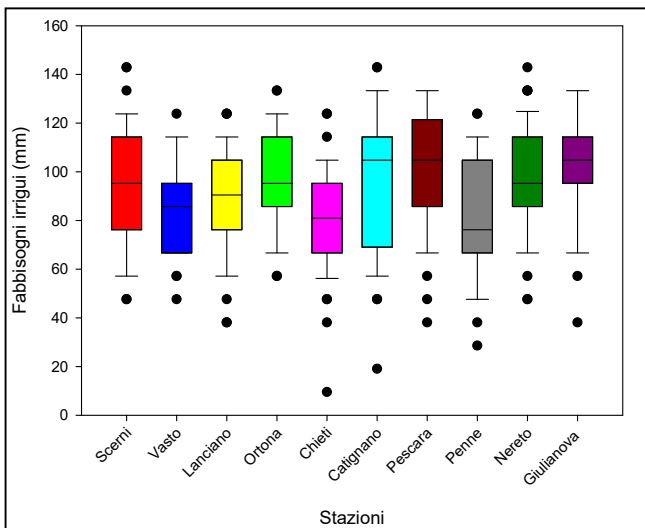


Fig.3 – Box-plot dei fabbisogni irrigui rilevati nel periodo luglio – agosto per ogni stazione e per il suolo franco. Le linee (barre di errore) sopra e sotto il riquadro indicano il 90° e il 10° percentile. La linea orizzontale mostra il valore mediano. I simboli indicano i dati estremi.

Fig.3 – Box plots of irrigation water requirements from July to August per each meteorological station and per loam soil. Whiskers (error bars) above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles. The horizontal line shows the median value. Symbols display extreme data points.

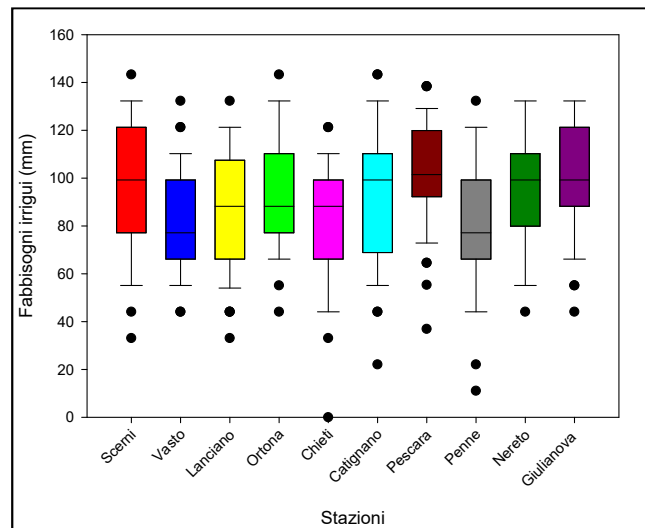


Fig.5 – Box-plot dei fabbisogni irrigui rilevati nel periodo luglio – agosto per ogni stazione e per il suolo franco limoso. Le linee (barre di errore) sopra e sotto il riquadro indicano il 90° e il 10° percentile. La linea orizzontale mostra il valore mediano. I simboli indicano i dati estremi.

Fig.5 – Box plots of irrigation water requirements from July to August per each meteorological station and per silty clay soil. Whiskers (error bars) above and below the box indicate the 90th and 10th percentiles. The horizontal line shows the median value. Symbols display extreme data points.

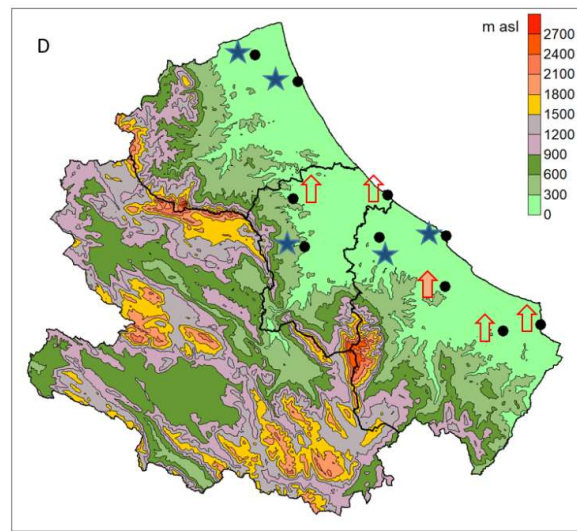
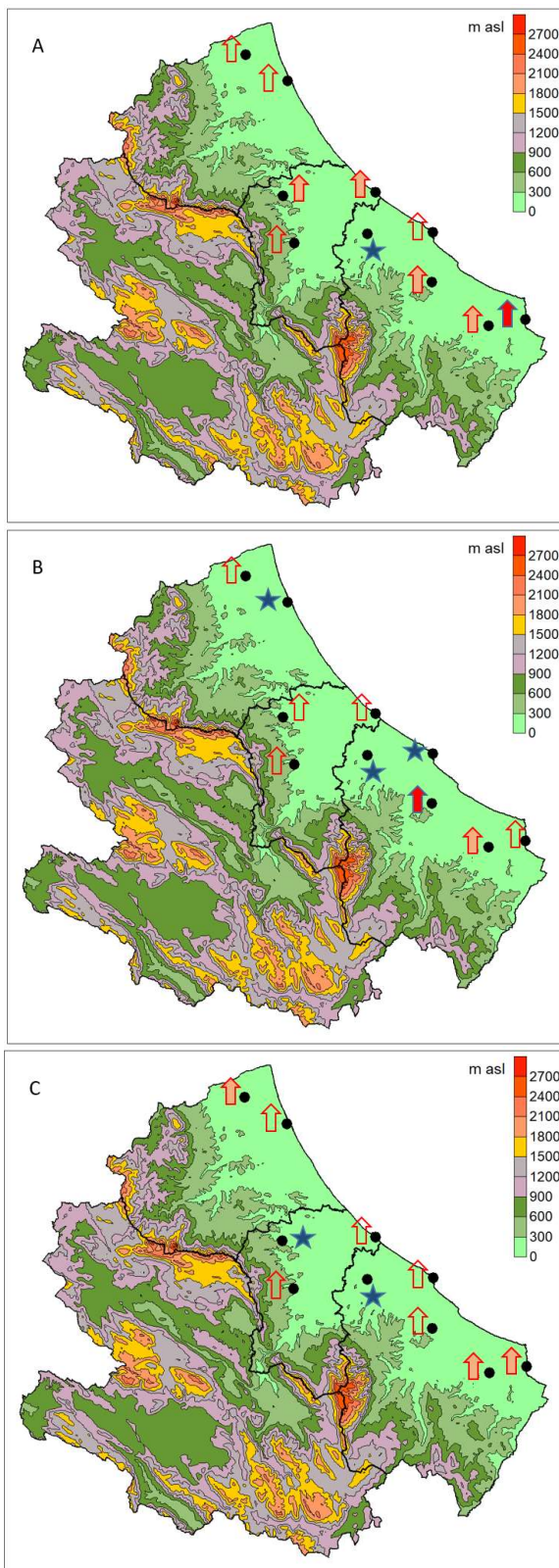


Fig.6 Distribuzione territoriale dei trend relativi ai fabbisogni irrigui netti del nocciolo riportata sulla mappa della regione Abruzzo e in alto le classi di altitudine. A) suolo franco (giugno-agosto). B) suolo franco (luglio-agosto) C) suolo franco limoso (giugno-agosto). D) suolo franco limoso (luglio agosto). Le frecce rivolte in alto indicano trend in aumento; quelle vuote indicano trend in aumento non significativo; quelle rosse piene trend in aumento significativo $p < 0,05$ mentre quelle arancio piene trend in aumento significativo $p < 0,10$. il simbolo stella blu indica trend non significativo con coefficiente angolare pari a 0.

Fig.6 Analysis of hazelnut irrigation water requirement trends reported on map of Abruzzo region with the black dots indicate location and on the upper right the altitude classes, A) loam soil, period June – August; B) loam soil, period July – August; C) silty clay soil, period June – August; D) silty clay soil, period July – August. The upward arrows denote increasing trends. The empty red arrows represent increasing trends but not significant. Full red arrows indicate significant trends with $P < 0.05$. Full orange arrows indicate significant trends with $P < 0.01$. The blue stars show no significant trend with an angular coefficient of 0.

Conclusioni

Il calcolo del bilancio idrico del nocciolo in Abruzzo, nel periodo 1974-2021, ha permesso di realizzare una stima dei fabbisogni irrigui netti nelle aree dove la pluviometria non è in grado di soddisfare le esigenze della specie. Inoltre, lo studio ha evidenziato un incremento dei fabbisogni irrigui netti nei periodi giugno- agosto e luglio agosto, significativo solo in alcuni limitati areali e soprattutto per il terreno franco. Il presente lavoro fornisce utili indicazioni per il dimensionamento degli impianti irrigui nelle 10 zone oggetto di indagine e evidenzia, anche, come l'irrigazione sia fondamentale nel periodo di luglio – agosto, quando si sviluppano e maturano le nocciole.

Bibliografia

- Curci G., Guijarro J.A., Di Antonio L., Di Bacco M., Di Lena B., Scorzini., 2021. A.R. Building a local climate reference dataset: Application to the Abruzzo region (Central Italy), 1930–2019. *Int J Climatol.* 2021; 41:4414–4436. <https://doi.org/10.1002/joc.70814436>
- Di Lena B., Curci G., Vergni L., Farinelli D., 2022 Climatic Suitability of Different Areas in Abruzzo, Central Italy, for the Cultivation of Hazelnut. *Horticulturae* 2022, 8, 580
- Gucci R., 2012 Irrigazione. Collana divulgativa dell'Accademia Nazionale dell'olivo e dell'olio, Spoleto, Italy,
- Hargreaves G.H., Samani Z.A., 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1985, 1(2): 96-99. doi: 10.13031/2013.26773
- Portarena S., Gavrichkova O., Brugnoli E., Battistelli A., Proietti S., Moscatello S., Famiani F., Tombesi S., Zadra C., Farinelli D., 2022. Carbon allocation strategies and water uptake in young grafted and own-rooted hazelnut (*Corylus avellana* L.) Cultivars. *Tree Physiology*, vol. 42, p. 939-957, ISSN: 1758-4469, doi: 10.1093/treephys/tpab164
- Sen P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association.* 63, 1379-1389.
- Silvestri C., Bacchetta L., Bellincontro A., 2021. Cristofori, V. Advances in cultivar choice, hazelnut orchard management, and nut storage to enhance product quality and safety: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2021, 101(1), 27-43. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10557>
- Theil H., 1950. A rank-invariant method for linear and polynomial regression analysis, I,II,III. *Nederlandse Akademie wetenschappen.* 53, pp 386-392, 521-525, 1397-1412.
- Tombesi A., Rosati A., 1996 Hazelnut response to water levels in relation to productive cycle. IV International Symposium on Hazelnut 445.
- Vinci A., Traini C., Portarena S., Farinelli D., 2023 Assessment of the mid - season crop coefficient for the evaluation of water demand of young, grafted hazelnut trees in a high-density orchards. *Water*, special issue Model-Based Irrigation Management. Volume 15, Issue 9, 1683. <https://doi.org/10.3390/w15091683>

DOWNSCALING DELLE PREVISIONI METEOROLOGICHE PER APPLICAZIONI IN AGRICOLTURA DI PRECISIONE

WEATHER FORECAST DOWNSCALING FOR APPLICATIONS IN PRECISION AGRICULTURE

Francesco Di Paola^{1*}, Domenico Cimini¹, Mariapia De Natale¹, Donatello Gallucci¹, Sabrina Gentile¹, Nicola Genzano²,
Edoardo Geraldi¹, Salvatore Larosa¹, Saverio Teodosio Nilo¹, Elisabetta Ricciardelli¹, Filomena Romano¹, Valerio
Tramutoli², Mariassunta Viggiano

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, Tito (PZ)

² Università degli Studi della Basilicata - Scuola di Ingegneria, Potenza

* francesco.dipaola@imaa.cnr.it

Abstract

Weather forecasts are a valuable support to smart agriculture and precision farming, and are all the more useful the higher their spatial resolution. However, the Numerical Weather Prediction (NWP) models do not allow continuous operational forecasting below the kilometer scale, due to the high computational costs. To overcome this limit an algorithm based on the Artificial Neural Network (ANN) was developed, to downscale the meteorological fields calculated by using the Weather Research and Forecasting (WRF) model, from the 1.2 km native spatial grid to the finer 240 m spatial grid. The training database was built by using the WRF model in *Large Eddy Simulation* (LES) mode. Preliminary results show RMSE on average 30% better than those obtained using the most common spatial interpolation methods.

Parole chiave

Agricoltura di precisione; WRF; downscaling; aumento di risoluzione spaziale; reti neurali

Keywords

Precision agriculture; WRF; downscaling; resolution enhancement; neural networks

Introduzione

L'agricoltura di precisione è un approccio globale alla gestione agricola che punta ad una maggiore sostenibilità, redditività e qualità dei prodotti, mediante l'uso di tecnologie informatiche e dispositivi integrati intelligenti a supporto dei processi decisionali (Sharma et al., 2020; Grisso et al., 2005). In tale ambito le previsioni meteorologiche costituiscono un elemento essenziale, consentendo agli agricoltori di programmare le operazioni che vanno dalla semina al raccolto, supportando i processi di razionalizzazione ed ottimizzazione nell'uso di acqua, sementi, fertilizzanti, pesticidi ed energia (Ukhurebor et al., 2022; Pelosi et al., 2019). Per consentire un efficace supporto alle decisioni tuttavia, la risoluzione spaziale delle previsioni dovrebbe essere sufficientemente elevata (Viggiano et al., 2019; Roy 2014). Sebbene incoraggianti progressi nella modellistica di microscala siano stati realizzati negli anni più recenti, i limiti computazionali imposti dallo stato dell'arte consentono di sviluppare catene operative che predicano continuamente i campi meteorologici su griglie spaziali che arrivino al massimo alla scala di ~1 km, estensione che non sempre consente interventi mirati, specie in un territorio ad orografia complessa come quello del sud Italia. Per superare questi limiti è stato sviluppato un algoritmo a reti neurali artificiali (*Artificial Neural Networks*, ANNs) per il downscaling delle previsioni meteorologiche calcolate su una vasta area del sud Italia mediante il *Weather Research and Forecasting* (WRF), un modello numerico alla mesoscala sviluppato a partire dalla fine degli anni '90, dalla

collaborazione tra diversi istituti di ricerca coordinati dal *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) e largamente utilizzato in ambito sia operativo che di ricerca. L'algoritmo opera in modo analogo ad un'interpolazione bilineare, ma con prestazioni migliori, consentendo di riscalare su griglia regolare a 240 m le previsioni a 1.2 km delle seguenti variabili meteorologiche: (i) vapor d'acqua a 2 m (*Q2*), (ii) temperatura a 2 m (*T2*), (iii) precipitazione cumulata oraria (*RAIN*), (iv) pressione superficiale (*PSFC*), (v) irradianza globale sul piano orizzontale (*SWD*), (vi) componente zonale del vento a 10 m di quota (*U10*), (vii) componente meridionale del vento a 10 m di quota (*V10*).

Materiali e Metodi

Reti neurali

Una rete neurale artificiale (*Artificial Neural Network*, ANN) è un sistema di calcolo ispirato alle reti neurali biologiche e largamente utilizzato in ambito scientifico, che consente di approssimare qualsiasi funzione complessa e non lineare (Ghumman et al., 2011, Hornik et al., 1989). In generale una ANN è costituita da un primo livello con tanti nodi quanti sono gli input, seguito da alcuni livelli nascosti, ciascuno con un numero variabile di nodi, ed un ultimo livello con tanti nodi quanti sono gli output. Le ANNs utilizzate in questo studio sono di tipo *feed forward*, caratterizzate cioè da un flusso di informazioni che procede nella direzione che va dal livello di input verso il livello di output, con ogni nodo di ogni livello connesso a tutti i nodi sia del livello precedente che di quello successivo (*fully*

connected). Per la stima dei pesi e dei bias è stato utilizzato l'algoritmo di addestramento *Levenberg-Marquardt* (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963), un metodo al secondo ordine che converge rapidamente e produce risultati generalmente accurati (Malik et al., 2022; Mashaly e Alazba, 2015). Per l'addestramento è stato necessario costruire un dataset di addestramento, suddividendolo in modo casuale in 3 sotto-dataset, definiti *Training*, *Validation* e *Test*, nelle percentuali rispettivamente di 60%, 20% e 20%, con il primo utilizzato per il processo di addestramento vero e proprio, il secondo per l'ottimizzazione dei parametri dell'ANN, e il terzo per valutarne le prestazioni (Ripley, 2007).

Weather Research and Forecasting model

La previsione operativa dei campi meteorologici è effettuata mediante il WRF, un modello numerico non idrostatico che risolve ed integra le equazioni della dinamica atmosferica, formulate utilizzando la coordinata verticale *eta terrain following*. Lo schema numerico impiegato per integrare i modi a bassa frequenza è il *Runge Kutta* al terzo ordine, mentre per i modi ad alta frequenza, onde acustiche e gravitazionali, è utilizzato lo schema *forward/backward*. La configurazione del modello si basa su due domini annidati in modalità *two-way*, con griglia spaziale con passo di circa 3.6 e 1.2 km, di seguito indicati rispettivamente come D01 e D02 e 40 livelli verticali distribuiti tra la superficie e la tropopausa. Per l'inizializzazione e per le condizioni al contorno sono state utilizzate le previsioni meteorologiche del modello globale del *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) di risoluzione spaziale nominale di 0.125° di latitudine e longitudine e risoluzione temporale di 6 ore. I dati terrestri si basano sul *Land Use/Land Cover* (LULC) e sul *Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010* (GMTED2010), a risoluzione spaziale nominale di 30 secondi d'arco (circa 900 m), forniti dal *U.S. Geological Survey* (Danielson and Gesch, 2011). Le principali impostazioni del modello sono: (i) microfisica *Thompson aerosol-aware*; (ii) *Rapid Radiative Transfer Model for Global Circulation Models* (RRTMG) per gli schemi radiativi a onde corte e onde lunghe; (iii) *nonlocal Yonsei University* per lo strato limite planetario (PBL); (iv) *Noah Land Surface Model* (Skamarock et al., 2019).

Creazione del database di addestramento

Per la creazione del database di addestramento per le ANNs, è stato utilizzato un database di simulazioni WRF in modalità *Large Eddy Simulation* (LES; Yamaguchi and Feingold, 2012; Moeng et al., 2007), che risolve esplicitamente che risolve esplicitamente le turbolenze nello strato limite planetario. In dettaglio sono state effettuate 12 simulazioni di 30 ore, di cui le prime 6 scartate per *spin-up* del modello, effettuate per 12 giornate, una per ciascun mese, del 2017, con 3 domini spaziali, di cui i due più esterni coincidenti con quelli del sistema utilizzato per le previsioni operative, ed un terzo dominio LES a 240 m di passo di griglia annidato nel dominio ad 1.2 km. Per la configurazione dei dati terrestri a più alta risoluzione è stato utilizzato il *Coordination of Information on the Environment* (CORINE) LULC *Programme* con risoluzione spaziale di 3 arco-secondi (circa

90 m, Büttner et al., 2014) e il *Digital Elevation Model* (DEM) del *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM; Farr et al., 2007) con risoluzione spaziale nominale di 1 arco-secondo (circa 30 m). Per l'inizializzazione e le condizioni al contorno sono state utilizzate esclusivamente le analisi meteorologiche del modello globale ECMWF ogni 6 ore, per rendere le simulazioni le più realistiche possibile. L'idea alla base dello sviluppo dell'algoritmo è quella di addestrare alcune ANNs utilizzando in input i campi WRF a 1.2 km e in output quelli a 240 m. Tale approccio tuttavia non è direttamente applicabile per via di piccole differenze nelle strutture dei campi a 240 m e 1.2 km che non dipendono dal diverso campionamento e risoluzione spaziale. Per la costruzione del database di addestramento sono stati quindi simulati gli output WRF a 1.2 km degradando la risoluzione spaziale di quelli a 240 m in modo che, a valle del successivo campionamento sui punti di griglia del dominio D02, la loro risoluzione spaziale risultante la più simile possibile a quella degli output originali ad 1.2 km. A tal fine è stata effettuata prima la convoluzione tra gli output sul dominio D03 e un filtro gaussiano bidimensionale, di dimensioni scelte mediante analisi delle trasformate di Fourier, e successivamente la decimazione dei punti prendendone uno per ogni box di (5x5) punti a 240 m.

Definizione preliminare degli input/output delle ANN

Per ciascuna variabile meteorologica elencata nell'introduzione (*Q2*, *T2*, *PSFC*, *RAIN*, *SWD*, *U10* e *V10*) è stata addestrata una ANN il cui output è costituito dalle Componenti Principali (*Principal Component*, PC), calcolate su un box di (7x7) punti di griglia a 240 m ordinati da sinistra verso destra e dall'alto verso il basso, della stessa variabile di cui si vuole effettuare il downscaling, selezionando le PCs che spiegano il 99.9% della varianza. Per l'input sono state prese preliminarmente in considerazione le PCs calcolate su un box di (5x5) punti di griglia della variabile stessa e le PC su un box di (3x3) punti di griglia delle restanti variabili meteorologiche sopra riportate, tutte a 1.2 km. Oltre alle variabili meteorologiche sopra elencate, sono state considerate in input anche le PCs calcolate sullo stesso box di (7x7) punti di griglia a 240 m usato per l'output, dell'altezza del suolo, della rugosità superficiale e delle 3 componenti del versore normale alla superficie terrestre, oltre ai valori singoli del coseno dell'angolo zenitale solare, della latitudine e della longitudine nel centro del box. Anche per gli input, le PCs selezionate sono quelle che spiegano il 99.9% della varianza del campo. Con tale aggregazione degli input/output, l'intero database a disposizione è risultato costituito da circa $3 \cdot 10^7$ patterns di addestramento, da cui sono stati ricavati due differenti riduzioni, una costituita da circa 10^5 patterns e utilizzata per le operazioni preliminari di design delle ANNs e di scelta definitiva delle variabili in input, e l'altra costituita da circa 10^6 patterns, per il più preciso e conclusivo addestramento delle reti.

Configurazione della topologia delle reti neurali

Per la definizione della topologia delle ANNs, cioè del numero di livelli nascosti, del numero di nodi su ogni livello nascosto e delle funzioni di trasferimento, si è partiti dall'assunto che, utilizzando una funzione di trasferimento continua, limitata e non costante nei livelli nascosti, e una funzione lineare nello strato di output, un solo livello nascosto consente – con un numero sufficiente di nodi – di approssimare qualsiasi funzione continua (Hecht-Nielsen, 1992; Hornik, 1991; Funahashi 1989). Tuttavia, il numero di livelli nascosti viene scelto pari a due perché questo consente generalmente di produrre risultati migliori (Thomas et al., 2017; Chester, 1990). Scegliendo quindi come funzione di trasferimento la tangente sigmoidea per i livelli nascosti (Sanò et al., 2016; Munoz et al., 2015) e la funzione lineare per il livello di output, l'unico parametro che deve essere definito è il numero di nodi. A tal fine, per ciascuna variabile meteorologica, è stato utilizzato un metodo iterativo in cui sono addestrate e confrontate per ogni iterazione due ANNs configurate con l'aggiunta di 1 nodo separatamente sul primo e sul secondo livello nascosto, scegliendo di volta in volta la configurazione con il minimo valore dell'errore quadratico medio (*Mean Square Error*, MSE) calcolato sul *Validation* dataset. Il processo iterativo è concluso quando la progressiva aggiunta di nodi sui due livelli nascosti produce per 10 volte un aumento del gradiente della media mobile a 3 punti del MSE valutato sul *Validation*, indice che l'aumento di nodi non comporta più un evidente aumento delle prestazioni. La configurazione di nodi scelta alla fine del processo iterativo è quella in corrispondenza del minimo MSE. In figura 1 viene mostrato un esempio di tale processo per l'ANN nel caso del rapporto di mescolanza del vapor d'acqua. Per le diverse iterazioni sono riportati con i cerchi pieni le configurazioni selezionate, con i cerchi vuoti quelle scartate e con la croce arancione la configurazione selezionata, costituita da 12 nodi sul primo livello nascosto e 9 sul secondo.

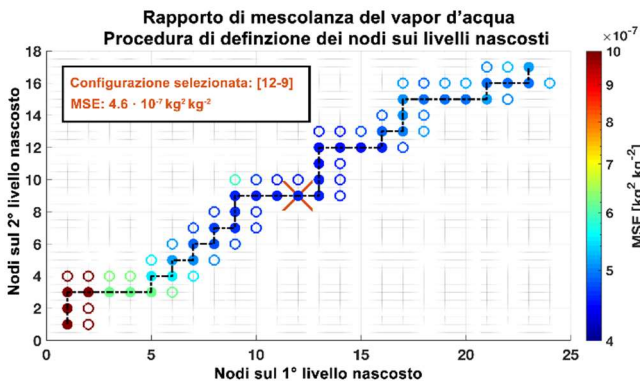


Fig.1 - Definizione del numero di nodi per la ANN per l'aumento di risoluzione spaziale per il rapporto di mescolanza del vapor acqueo a 2 m di quota.

Fig.1 – Definition of the ANN node number for the spatial resolution enhancement for the water vapor mixing ratio at 2 m altitude.

Selezione delle variabili in input

Le variabili in input preliminarmente identificate sono state selezionate perché potenzialmente correlate all'output in quanto caratterizzanti delle condizioni atmosferiche e della topografia del luogo. Tuttavia, molte di queste variabili potrebbero essere non necessarie e il loro contributo trascurabile o addirittura controproducente in termini di aumento del rischio di *overfitting*, e pertanto sono state identificate e rimosse. A tal fine è stata adottata una procedura di valutazione e rimozione ricorsiva dei nodi di input, valutandone l'importanza in base alla variazione del MSE valutato sul *Validation* dataset, a seguito della loro rimozione e successivo aggiornamento dei pesi e bias della ANN. Nella prima iterazione tutti gli input vengono rimossi, uno alla volta, per individuare l'input la cui rimozione produce il minimo valore del MSE. Una volta individuato e rimosso definitivamente il primo input, la procedura prosegue con le successive iterazioni al fine di rimuovere, uno dopo l'altro tutti gli input, fino al raggiungimento, con una tolleranza del 5%, di un valore soglia, fissato nel minimo MSE sul *Validation* set. In figura 2 viene mostrato il processo di rimozione degli input per il downscaling del rapporto di mescolanza del vapor d'acqua, che dei 225 input inizialmente considerati ne elimina 197 e ne conserva i restanti 28.

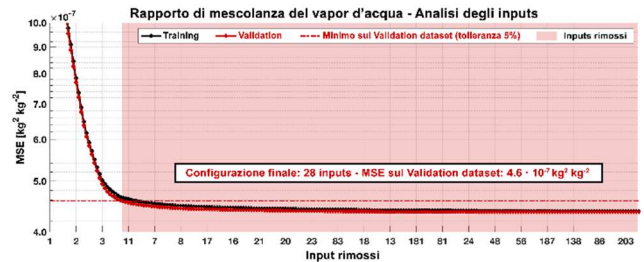


Fig.2 – Procedura di rimozione delle variabili in input per la ANN per l'aumento di risoluzione spaziale per il rapporto di mescolanza del vapor acqueo a 2 m di quota.

Fig.2 – Inputs removal procedure for the ANN for the spatial resolution enhancement for the water vapor mixing ratio at 2 m altitude.

Tab.1 - Configurazione delle ANN e risultati degli addestramenti. La quaterna di valori nella seconda colonna indica il numero di variabili in input, il numero di nodi nel 1° e 2° livello nascosto e il numero di outputs.

Tab.1 - ANN configuration and training results. The quad of values in the second column indicates the number of inputs, the number of hidden nodes in the 1st and 2nd level and the number of outputs.

Campo	ANN Config.	RMSE Test dataset	RMSE/σ
Q2	28-12-9-42	0.45 g/kg	12.6%
T2	33-6-9-36	0.58 K	6.5%
PSFC	144-17-18-12	161 Pa	3.3%
SWD	28-16-14-46	103 W/m ²	36.0%
RAIN	28-11-17-15	0.15 mm	8.4%
U10	59-23-14-37	0.73 m/s	22.1%
V10	67-25-10-37	0.70 m/s	22.6%

Addestramento finale delle reti neurali

Utilizzando le configurazioni di livelli nascosti, nodi ed input secondo quanto definito nei paragrafi precedenti, ogni ANN è stata addestrata nella sua versione definitiva, utilizzando il database di addestramento costituito da 10^6 patterns.

Risultati e Discussione

In tabella 1 sono mostrate le configurazioni delle ANNs, la radice quadrata dell'errore quadratico medio (Root Mean Square Error, RMSE) calcolato sul Test dataset, e il rapporto fra il RMSE e la deviazione standard, usata come parametro per caratterizzare la variabilità implicita del campo. Il rapporto indicato è sempre notevolmente inferiore al 100%, dimostrando quindi l'efficienza del metodo proposto. In generale, l'accuratezza dei modelli di previsione è strettamente legata a un'ampia varietà di configurazioni, parametri e opzioni fisiche, come il numero, l'estensione e la risoluzione dei diversi domini e le loro opzioni di *nesting*, il modello di superficie, le condizioni iniziali e al contorno, e gli schemi e le parametrizzazioni adottate per la microfisica, per la convezione e per il PBL. Per questo motivo, una valutazione delle prestazioni dell'algorithm effettuata comparandone i risultati con strumenti e/o reti di misura al suolo, finirebbe per valutare le previsioni del modello WRF e le configurazioni scelte, e non l'algorithm di downscaling, che è l'obiettivo di questo studio. Per ovviare a tale limite, dato che il metodo di downscaling proposto funziona formalmente come un metodo di interpolazione in 2 dimensioni, trasformando cioè un campo con passo di griglia regolare a 1.2 km, a un campo con passo di griglia a 240 m, la valutazione delle prestazioni dell'algorithm è stata effettuata confrontando i campi a 240 m con quelli ottenuti utilizzando i più comuni metodi di interpolazione spaziale, come il nearest, il lineare, il cubico, il cubico a tratti di Hermite (Fritsch e Carlson, 1980), il cubico di Akima (Akima 1980) e lo spline cubico (De Boor, 1978). Questo confronto è stato effettuato utilizzando un secondo database di simulazioni WRF-LES, costituito da 24 ore di outputs per 4 giornate di simulazioni, preprocessate in modo analogo a quanto fatto per il database di addestramento. Tra i diversi metodi di interpolazione, quelli cubici hanno prodotto i risultati migliori e molto simili tra loro, con prestazioni leggermente migliori per l'interpolazione spline cubica, che è stata quindi scelta come benchmark per un rapido confronto con l'algorithm sviluppato. In figura 3 sono mostrati a titolo d'esempio i campi Q2 per la simulazione del 10/06/2017 ore 12.00, per la simulazioni WRF-LES, e per i due metodi di downscaling con interpolazione spline cubica e con algorithm ANN. Alcuni dettagli evidenziati mostrano una maggior similitudine al dato originale a 240 m del campo calcolato mediante ANN che non di quello calcolato mediante interpolazione spline. In generale su tutto il dataset, i risultati ottenuti indicano per Q2 RMSE pari a 0.51 g/kg e 0.45 g/kg, per spline cubica e ANN, con un miglioramento quindi di circa il 12% per l'algorithm ANN; per T2 i due RMSE e il miglioramento percentuale sono 0.67 K, 0.58 K e 13%; per RAIN 0.22 mm, 0.20 mm, 9%; per PSFC 1204 Pa, 161 Pa, 87%; per SWD 112 W/m², 105 W/m², 6%; per U10

1.15 m/s, 0.73 m/s, 37%; per V10 1.08 m/s, 0.70 m/s, 35%. Complessivamente, quindi, il downscaling mediante ANN ha prodotto performances sempre superiori a quelle dei metodi di interpolazione analizzati.

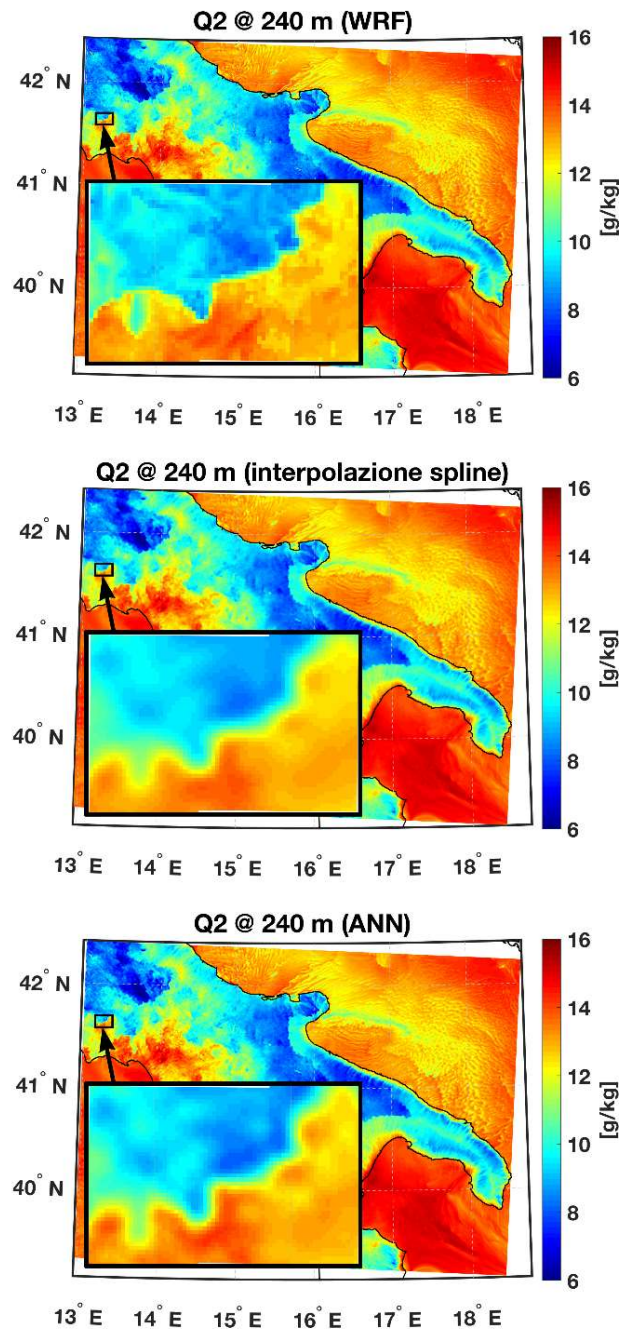


Fig.3 – Confronto dei risultati dell'algorithm basato su ANN con quelli dell'interpolazione spline cubica e del WRF-LES, per Q2 nella simulazione del 10/06/2017 ore 12.00 UTC.

Fig.3 – Comparison of the ANN based algorithm results with those of the cubic spline interpolation and of the WRF-LES, for Q2 in the simulation of 10/06/2017 at 12.00 UTC

Conclusioni

In questo articolo è stato mostrato un metodo di downscaling di alcuni campi meteorologici previsti dal WRF mediante un algoritmo a reti neurali, a supporto dell'agricoltura di precisione. I risultati mostrano prestazioni più alte di quelle di tutti i metodi di interpolazione considerati, con miglioramento del RMSE che vanno da un minimo del 9% del RMSE per la precipitazione, ad un massimo di 87% per la pressione superficiale.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata condotta nell'ambito del progetto "On Demand Services For Smart Agriculture" (OD4SA), finanziato dal PO FESR 2014-2020 della Regione Basilicata.

Bibliografia

- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2020). Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, 9, 4843-4873.
- Grisso, R. D., Alley, M. M., McClellan, P., Brann, D. E., & Donohue, S. J. (2005). Precision farming. a comprehensive approach.
- Ukhurebor, K. E., Adetunji, C. O., Olugbemi, O. T., Nwankwo, W., Olayinka, A. S., Umezuruike, C., & Hefft, D. I. (2022). Precision agriculture: Weather forecasting for future farming. In *AI, Edge and IoT-Based Smart Agriculture* (pp. 101-121). Academic Press.
- Pelosi, A., Chirico, G. B., Bolognesi, S. F., De Michele, C., & D'Urso, G. (2019, October). Forecasting crop evapotranspiration under standard conditions in precision farming. In *2019 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)* (pp. 174-179). IEEE.
- Viggiano, M., Busetto, L., Cimini, D., Di Paola, F., Geraldini, E., Ranghetti, L., Ricciardelli, E., & Romano, F. (2019). A new spatial modeling and interpolation approach for high-resolution temperature maps combining reanalysis data and ground measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276, 107590.
- Roy, S. (2014, June). Feedback control of soil moisture in precision-agriculture systems: Incorporating stochastic weather forecasts. In *2014 American Control Conference* (pp. 2694-2698). IEEE.
- Ghumman, A. R., Ghazaw, Y. M., Sohail, A. R., & Watanabe, K. (2011). Runoff forecasting by artificial neural network and conventional model. *Alexandria Engineering Journal*, 50(4), 345-350.
- Hornik, K., M. Tinchcombe & H. White (1989). Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators. *Neural Networks*, 2, 359-366.
- Levenberg, K. (1944). A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Quarterly of applied mathematics*, 2(2), 164-168.
- Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), 431-441.
- Malik, P., Gehlot, A., Singh, R., Gupta, L. R., & Thakur, A. K. (2022). A Review on ANN Based Model for Solar Radiation and Wind Speed Prediction with Real-Time Data. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-19.
- Mashaly, A. F., & Alazba, A. A. (2015). Comparative investigation of artificial neural network learning algorithms for modeling solar still production. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 5(4), 480-493.
- Ripley, B. D. (2007). *Pattern recognition and neural networks*. Cambridge university press.
- Danielson, J. J., & Gesch, D. B. (2011). Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010).
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J.G., Duda, M. G., Barker, D. M., Huang, X.Y., (2019). A description of the advanced research WRF model version 4. *National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA*, 145.
- Jimenez, P. A., Hacker, J. P., Dudhia, J., Haupt, S. E., Ruiz-Arias, J. A., Gueymard, C. A., Thompson, G., Eidhammer, T., and Deng, A. (2016). WRF-Solar: Description and clear-sky assessment of an augmented NWP model for solar power prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(7), 1249-1264.
- Yamaguchi, T., & Feingold, G. (2012). Large-eddy simulation of cloudy boundary layer with the Advanced Research WRF model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 4(3).
- Moeng, C. H., Dudhia, J., Klemp, J., & Sullivan, P. (2007). Examining two-way grid nesting for large eddy simulation of the PBL using the WRF model. *Monthly weather review*, 135(6), 2295-2311.
- Büttner, G., Soukup, T., Kosztra, B. (2014) CLC2012 addendum to CLC2006 technical guidelines. European Environmental Agency, Tech rep
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2).
- Hecht-Nielsen, R. (1992). Theory of the backpropagation neural network. In *Neural networks for perception* (pp. 65-93). Academic Press.
- Hornik, K. (1991). Approximation capabilities of multilayer feedforward networks. *Neural networks*, 4(2), 251-257.
- Funahashi, K. I. (1989). On the approximate realization of continuous mappings by neural networks. *Neural networks*, 2(3), 183-192.
- Thomas, A. J., Petridis, M., Walters, S. D., Gheytaasi, S. M., & Morgan, R. E. (2017). Two hidden layers are usually better than one. In *International Conference on Engineering Applications of Neural Networks*, pp. 279-290
- Chester, D.L. (1990). Why Two Hidden Layers are Better than One, *IJCNN, International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 265-268.
- Sanò, P., Panegrossi, G., Casella, D., Marra, A. C., Di Paola, F., & Dietrich, S. (2016). The new Passive microwave Neural network Precipitation Retrieval (PNPR) algorithm for the cross-track scanning ATMS radiometer: Description and verification study over Europe and Africa using GPM and TRMM spaceborne radars. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(11), 5441-5460.
- Munoz, E. A., Di Paola, F., & Lanfri, M. A. (2015). Advances on rain rate retrieval from satellite platforms using artificial neural networks. *IEEE Latin America Transactions*, 13(10), 3179-3186.
- Fritsch, F. N., & Carlson, R. E. (1980). Monotone piecewise cubic interpolation. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 17(2), 238-246.
- Akima, H. (1970). A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. *Journal of the ACM (JACM)*, 17(4), 589-602.
- De Boor, C. (1978). *A practical guide to splines* (Vol. 27, p. 325). New York: springer-verlag.

VARIAZIONE DI ALBEDO DOVUTA AL CAMBIO DI DESTINO DI USO DEL SUOLO E SUOI EFFETTI IN TERMINI DI FORCING RADIATIVO E DI CONTRIBUTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

VARIATION OF ALBEDO DUE TO LAND USE CHANGE AND ITS EFFECTS IN TERMS OF RADIATIVE FORCING AND CONTRIBUTION TO CLIMATE CHANGE

Vanessa Giorgione¹, Antonio Volta¹, Cinzia Alessandrini¹

¹ Osservatorio Clima ARPAE-SIMC, Viale Silvani 6, 40122 Bologna

* ext-vgiorgione@arpae.it

Abstract

The forestry sector contributes significantly to the reduction of greenhouse gases concentration in the atmosphere and to the containment of global warming. A topic of the current research is that of the role of the albedo and its variation in global warming as a result of land use change. In fact, afforestation and reforestation might reduce the atmospheric CO₂ concentration through carbon sequestration, meanwhile leading to additional positive forcing reducing the albedo.

With the project “Percorso per la Neutralità Carbonica”, the Region Emilia-Romagna aims to reach a net zero emissions balance before 2050.

Within the framework of this project, it is useful to consider the change in superficial albedo, given that its decrease has the potential to enhance the terrestrial capacity of retaining radiation and promotes a possible increase in terms of carbon equivalent emissions, thereby provoking temperature rise.

Parole chiave

Riscaldamento globale, mitigazione, radiazione solare, rimozione carbonio, gestione forestale

Keywords

Global warming, mitigation, solar irradiance, carbon removal, forest management

Introduzione

Le emissioni di gas ad effetto serra sono tra le principali cause del cambiamento climatico, poiché trattenendo il calore del sole, contribuiscono principalmente al riscaldamento globale.

Nell’ottica di ridurre e limitare i danni futuri, la Regione Emilia-Romagna, con la determina 581/2022, intraprende il “Percorso per la Neutralità Carbonica” al fine di diminuire drasticamente le emissioni e raggiungere una parità netta incrementando gli assorbimenti di carbonio, sulla base degli obiettivi dell’Agenda 2030. Le superfici forestali sono sicuramente quelle che possono fornire un maggior contributo di sequestro di carbonio.

A tal proposito, un argomento interessante ed innovativo dal punto di vista scientifico, è quello della valutazione dell’impatto del cambio di albedo, su cui si basa il presente studio ispirato ad articoli scientifici di Betts et al 2000, Caiazza et al 2014, e Favero et al 2018.

Si considera la radiazione solare riflessa e assorbita da una superficie al fine di misurarne l’influenza nell’alterazione del bilancio tra energia entrante ed uscente nel sistema Terra-atmosfera.

In questo lavoro ci focalizziamo sul cambio di uso del suolo. È importante monitorare ed analizzare la gestione delle foreste, in quanto queste superfici sono dei sink di carbonio ma allo stesso tempo hanno il maggior potenziale tra i sistemi naturali, di trattenere radiazione solare. In particolare, si esamina il passaggio da terreno agricolo a forestale, il conseguente cambio di albedo e quindi l’effetto

in termini di energia trattenuta a terra come equivalente di CO₂ emessa in atmosfera.

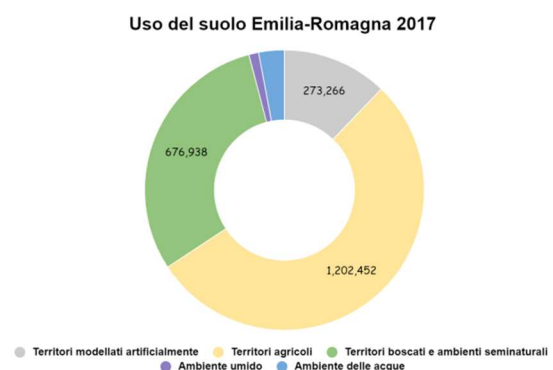


Fig.1 - Uso del suolo ER 2017, 1° livello di dettaglio

Fig.1 – Land use ER 2017, 1° detail level

Materiali e Metodi

A partire dalla banca dati più recente di consumo e variazione di uso del suolo della regione Emilia-Romagna riassunti in Fig. 1, è stato esaminato l’andamento delle aree boscate di latifoglie, conifere e queste combinate. Si è così determinata la relativa differenza in ettari, sul periodo di riferimento (Tab. 1).

Tab.1 - Variazione uso del suolo 2014-2017 ER
 Tab.1 - Land use change 2014-2017 Emilia-Romagna region

VARIAZIONI USO DEL SUOLO 2014-2017 DI DETTAGLIO - Edizione 2020 Regione Emilia-Romagna						
Voci riferite al progetto europeo Corine Land Cover						
Livello 1	Livello 2	Livello 3	2014	2017	variazione 2014-2017	
			ha	ha	ha	%
3 Territori boscati e ambienti seminaturali	3.1 Aree boscate	3.1.1 Latifoglie	510588	517692	7104	1.4%
		3.1.2 Conifere	15663	15733	70	0.4%
		3.1.3 Boschi misti	21551	22131	580	2.7%

Per stimare il cambio di albedo, bisogna considerare i valori di albedo estiva delle foreste mature sottratti all'albedo di un terreno coltivato (cropland). Da qui si è stimata la variazione di albedo ed il forcing radiativo dovuto a questo cambio, in base alla procedura riportata in Fig. 2 :

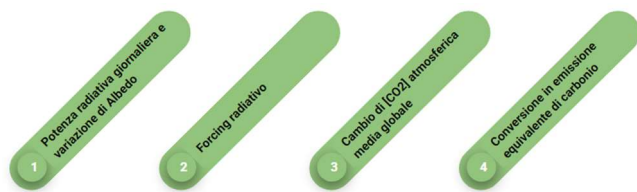


Fig.2 - Infografica procedimento
 Fig.2 - Procedure infographic

In primo luogo, si calcola il flusso radiativo al di sopra dell'atmosfera convertendolo in potenza radiativa giornaliera in W/m², come descritto in Caiazzo et al, 2014. A seguire si calcola per latifoglie, conifere e bosco misto, il cambio di albedo moltiplicato per la trasmittanza massima locale. Dopo aver ottenuto la variazione di albedo, si può calcolare il forcing radiativo globale secondo la formula di Caiazzo et al, 2014:

$$\Delta RF_{global} = \left\{ - \frac{1}{365} \sum_{d=1}^{365} [R_{TOA}(d) \Delta\alpha(d)] \right\} \frac{Aa}{A_{earth}}$$

dove ΔRF_{global} è il forcing radiativo medio annuo, $R_{TOA}(d)$ è la potenza radiativa giornaliera (in W/m²), $\Delta\alpha(d)$ è la variazione di albedo, Aa è l'area soggetta al cambio di albedo, posta uguale ad 1ha e A_{earth} area totale della Terra in ettari.

Per stabilire una comparazione diretta tra gli effetti del cambio di albedo e quelli biogeofisici, il forcing radiativo globale è convertito in CO₂e.

Per cui, si è determinato l'effetto del forcing radiativo come equivalente di un cambio di concentrazione media atmosferica di CO₂.

A questo punto il forcing radiativo globale può essere pensato e quindi convertito in C (in ppm), cioè il cambio di concentrazione di anidride carbonica atmosferica media globale, invertendo la relazione logaritmica di Betts et al, 2000:

$$F = 5.35 \ln(1 + \Delta C/C_0)$$

dove F è il contributo di una copertura forestale al forcing globale, $C_0 = 363.8$ ppm è la concentrazione di anidride carbonica nel 1997.

ΔC è convertito in emissione equivalente di carbonio per unità d'area soggetta a cambio di albedo, seguendo il procedimento di Caiazzo et al, 2014.

$$\Delta CT = \left(\frac{1}{AF_{TH=100}} \right) \Delta C \cdot m_{atm} \left(\frac{M_c}{M_{air}} \right) \left(\frac{1}{Aa} \right) \frac{1}{10^6}$$

dove: m_{atm} è la massa totale dell'atmosfera in tonnellate, M_c è il peso molecolare del C (g/mol), M_{air} è il peso molecolare dell'aria (g/mol), Aa è l'area soggetta a variazione di albedo in ettari ed AF_{TH} frazione di CO₂ aerotrasportata per un orizzonte temporale di 100 anni, ovvero la quantità di CO₂ da emissioni antropiche che rimane in atmosfera, come in Canadell et al., 2007.

Risultati e Discussione

I risultati ottenuti in tonnellate di carbonio per ettaro, sono infine moltiplicati per gli ettari di ciascuna tipologia di bosco, per stimare l'effetto che avrebbero sulle suddette superfici, ovvero un "non assorbimento".

L'albedo diminuita provoca un effetto di riscaldamento globale equivalente ad un fittizio incremento di CO₂ in atmosfera. In tabella 2 sono riportati i risultati per le varie tipologie di bosco.

Tab.2 - Risultati
 Tab.2 - Results

RISULTATI					
Lat 44.3 (Bologna)	Δ Albedo	ΔC (ppm)	ΔCT (tC/ha)	ΔCT_{global} (tC)	Annual growth rate (tC/year)
Latifoglie	0.05	-0.0194	-92	-218064	-2181
Conifere	0.09	-0.0370	-175	-4086	-41
Bosco misto	0.07	-0.0282	-134	-25855	-259

I conti risultano negativi in quanto il segno meno è una convenzione che significa che non si tratta di carbonio assorbito bensì di un equivalente ad un emissione di carbonio. Per determinare l'incremento annuale abbiamo stimato una vita media del bosco pari a 100 anni.

Abbiamo verificato come varia questo parametro in base agli estremi di latitudine della regione Emilia-Romagna, ottenendo tuttavia risultati molto simili alla latitudine di partenza.

I valori riportati in tabella possono essere comparati con un valore medio di assorbimento forestale, che per l'anno 2020, per le emissioni dell'inventario GHG di Arpaè è pari a -857945.541 t/year.

L'impatto del cambio di albedo a livello di emissioni di carbonio non è trascurabile, in quanto il suo effetto ridurrebbe per le nuove foreste di circa il 65% per le latifoglie e 64% per le conifere, l'effetto di rimozione del

carbonio dall'atmosfera (vedasi equazione 7 di Favero et al 2018).

Conclusioni

La variazione di albedo è un parametro che influisce lievemente su scala regionale, ma, se considerato su scala globale sicuramente, la sua variazione avrebbe un impatto rilevante in quanto determinerebbe un aumento della temperatura superficiale del suolo, quindi un riscaldamento generale ed un'alterazione degli equilibri del sistema atmosfera-terra. Con questo articolo si dimostra che l'effetto dell'albedo si può valutare in termini di CO₂ equivalente. Considerando quindi questo effetto il bilancio di carbonio cambia e il suo effetto non è da trascurare. Il computo degli assorbimenti, se integrato con questo parametro, sarebbe più accurato e dettagliato ai fini di una valutazione proficua per il "forest management" ed il raggiungimento della Neutralità Carbonica. Una ricerca ed analisi approfondite sono necessarie per trarre conclusioni più adeguate poiché gli effetti di un cambio a superficie forestale sono molteplici, ciononostante con il presente lavoro si vuole sottolineare l'importanza di considerare l'albedo affinché si possano valutare più accuratamente misure di contrasto al cambiamento climatico.

Bibliografia

- Arpae, 2021. Inventario delle emissioni GHG 2020. <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/aria/inventari-emissioni/inventario-emissioni-gas-serra/inventario-emissioni-ghg-2020.pdf/view>
- Betts RA. Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature*. 2000 Nov 9;408(6809):187-90. doi: 10.1038/35041545. PMID: 11089969.
- Caiazza F., Robert M., Staples M.D., Wolfe P.J., Yim S. H. L., Barrett S. R. H., 2014. Quantifying the Climate Impacts of Albedo Changes Due to Biofuel Production: a Comparison with Biogeochemical Effects. *Environmental Research Letters* 9, (2): 024015.
- Canadell et al., 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 10.1073/pnas.0702737104
- Favero A., Sohngen B., Huang Y., Jin Y., 2018. Global cost estimates of forest climate mitigation with albedo: a new integrative policy approach. *Environ. Res. Lett.*, 13: 125002
- Regione Emilia-Romagna, 2022. "La transizione ecologica attraverso il percorso per la neutralità carbonica prima del 2050". DGR 581/2022. https://servizisiiir.regione.emilia-romagna.it/deliberegiunta/servlet/AdapterHTTP?action_name=ACTIONRICERCADELIBERE&operation=leggi&cod_protocollo=GPG/2022/452&ENTE=1

PREVISIONI AGROMETEOROLOGICHE A MEDIO TERMINE DI SUPPORTO ALL'AGRICOLTURA

MEDIUM-RANGE AGROMETEOROLOGICAL FORECAST SUPPORTING AGRICULTURE

Giulia Maria Bellucci¹*, Roberta Alilla¹, Flora De Natale¹, Antonio Gerardo Pepe¹, Barbara Parisse¹

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente, Via della Navicella 4, 00184 Roma
*giuliamaria.bellucci@crea.gov.it

Abstract

In the framework of the Italian National Rural Network (Agrometeore project), the Observatory of Agro-Meteo-Climate (CREA - AA) has started to forecast several agrometeorological indices based on the Atmospheric Model high resolution (HRES) forecast products of the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). These indices are computed with a daily frequency at 0.1 degrees resolution covering the whole Italian country. A number of data processing routines have been developed to ensure a regular data flow which lead to automatically provide several forecast products (data, statistics and maps). These open access resources will be published online and may be useful for supporting agrometeorological services at both national and sub-national levels.

Parole chiave

Indici agrometeorologici, ECMWF, mappe di previsione giornaliera, evapotraspirazione di riferimento Penman-Monteith, servizi agrometeorologici.

Keywords

Agrometeorological indices, ECMWF, daily forecast maps, Penman-Monteith reference evapotranspiration, agrometeorological services.

Introduction

Agrometeorological forecast can improve agricultural management and reduce the impact of climate change. Nowadays weather and climate organizations are developing forecast systems at short to medium range which feed Decision Support Systems (DSSs) usable for decision making also in farming. In Italy, some regional agrometeorological services already support farmers with specific products mainly for water supply forecasts and late frost days, as highlighted during the recent web conference organized by the national task force on agrometeorology in the framework of the Italian National Rural Network (Tavolo Nazionale di coordinamento nel settore dell'agrometeorologia, 2022). In the same context, the Agrometeore project (“Development of the national agrometeorological system to support the National Rural Network”) and the Observatory of Agro-Meteo-Climate (CREA - AA) have started to produce agrometeorological forecast based on the Atmospheric Model high resolution (HRES) 10-days forecast products of the ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Haiden et al., 2022). The goal is to provide an overview of the upcoming future agrometeorological conditions at a national level, with a particular focus on climate hazards that could affect the agricultural activities. We are therefore selecting some indices suitable for describing the most common events that currently influence farming. In the following, the whole data flow is described for developing this new agrometeorological service which integrates the

monthly monitoring published on the online magazine Pianeta PSR (Parisse et al., 2022).

Materials and Methods

In order to forecast some agrometeorological indices, such as Growing Degree Days or Chilling Units, we need to combine past and future weather data. For this purpose, two global datasets of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) were chosen: the *ERA5 Land* - E5L data (Muñoz-Sabater et al., 2021) from the Climate Data Store (CDS) of the Copernicus Climate Change Service (C3S) and the *Atmospheric Model high resolution (HRES) 10-days forecast products*.

The E5L is the land component of ERA5, the fifth generation ECMWF reanalysis for the global climate and weather, which combines past short-range weather forecasts with observations through data assimilation. Its most recent version is the ERA5-Land-T (E5L-T), which delivers non-checked (i.e. preliminary) close to near real time (5 days delay) daily updates, eventually overwritten by the final E5L data about two months after the releasing month. Raw hourly E5L-T data are downloaded every day in a single GRIB file which includes all the variables requested.

The HRES forecasts, namely runs, are produced each day at the four main synoptic hours (i.e. 00, 06, 12, 18 UTC), with a current spatial resolution of 9 km. The dissemination time schedule of the forecast products is about 6-7 hours later with respect to the synoptic hours. Forecast products are stored in three different types of files, according to the forecast step

frequency, which are hourly up to 90 hours (stream indicator "S"), 3-hourly from 93 to 144 hours (stream indicators "D") and 6-hourly from 150 to 240 hours (stream indicator "D"). Although HRES forecast is available for many different atmospheric layers such as surface, model levels, pressure levels, isentropic levels and levels of equal potential vorticity, we consider only the surface layer, which corresponds to the single layer of E5L.

Raw atmospheric data supplied by HRES forecast consists of 398 GRIB files of about 110 MB per day. 125 files come from the forecasts out to 10 days (+240 hours) based on 00 UTC synoptic hour and include different forecast time steps, according to the variable frequency mentioned above. The remaining 273 files come from the other three daily forecast runs (06, 12, 18 UTC) and provide only hourly forecast up to 90 hours. Each forecast run includes an additional file, referred to as the analysis, which is estimated combining observations, sea surface temperature fields and model physics.

The dataset requests derived from both the aforementioned data sources are centered on Italy and cover an area within the coordinates 35.0° - 48.0° N, 6.0° - 20.0° E, based on the EPSG:4326 coordinate reference system, with a spatial resolution of 0.1°. The list of variables is shown in Table 1.

Tab.1 - Input variables.

Tab.1 - Variabili in input.

Short Name	Variable Name	Units
2t	2 m temperature	K
2d	2 m dewpoint temperature	K
10v	10 metre V wind component	m s ⁻¹
10u	10 metre U wind component	m s ⁻¹
ssrd	Surface solar radiation downwards	J m ⁻²
tp	Total precipitation	m
lsm	Land-sea mask	(0 - 1)
z	Geopotential	m ² s ⁻²

The raw data are pre-processed to build a single NetCDF file, inside which the daily values needed to forecast the agrometeorological indices are stored day by day. For both E5L and HRES datasets, sub-daily data is summarized at a daily time step. As a result, daily time series of the variables listed in Table 2 are calculated, starting from the 1st of January 2023. As regards HRES raw accumulated variables (tp and ssrd), which are stored as cumulative quantities from the first to the final forecast time step, the time series are reconstructed by subtracting each-time dependent value from the previous. In addition, the daily relative humidity is estimated based on hourly humidity time series (to reduce bias issues) derived in turn from dew point (2d) and air temperature (2t). Then, the daily reference

evapotranspiration is computed according to the FAO Penman-Monteith method (Allen, 1998).

Overall, the daily-updated NetCDF file is composed by four time segments attached in chronological order: E5L final release (up to 2-3 months before the present), E5L-T preliminary version (up to 5-6 days before the present), previous HRES with stream indicator "S" (up to 1 day before the forecast run 00), and current HRES forecast run 00 from +1 to +7 days.

Finally, the NetCDF file includes two invariable layers: the geopotential height, which corresponds approximately to the elevation, and the boolean mask of the E5L cells covering the Italian country.

Tab.2 - Pre-Processed daily variables and invariable layers. * Only for HRES

Tab.2 - Variabili giornaliere pre-elaborate e strati informativi costanti. * Solo per HRES

Variable Name	Description
tasmin	Minimum temperature
tasmax	Maximum temperature
tasmean	Mean temperature
rhmin	Minimum relative humidity
rhmax	Maximum relative humidity
ws10	Mean 10 metre wind speed
ssrd	Surface solar radiation downwards
ppn	Precipitation
tpcum*	Precipitation cumulated from the 1st forecast day
pev	Evapotranspiration (from FAO Penman-Monteith method)
Invariant layer	
itmask	Boolean code from E5L for Italy
hgeo	Geopotential height (surface elevation)

A series of indices is under processing to capture the most common hazards in agriculture such as extreme temperatures, droughts, heavy rains and so on. The choice of indices was based on those officially recognized by the World Meteorological Organization (WMO and GWP, 2016; WMO, 2017) and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007; Field et al., 2012). We also referred to other works in the literature carried out for Italy (Mariani et al., 2018; Esposito et al., 2015; Segnalini et al., 2013), as well as to products developed and disseminated by agrometeorological and similar services, at a regional level. In Table 3 the agrometeorological indices are reported. For the first five specific routines have already been set up while the next ones are still under development and further indices will be produced in the future. Each index has a different period of assessment which is closely linked to both the seasonal weather-climatic conditions and the different stages of the growing season. The agrometeorological indices will be provided as maps, graphical visualizations as well as in terms of data, annotated with discovery and description metadata, compliant with the FAIR principles (Wilkinson et al., 2016). We decided to produce 7-days agrometeorological

forecasts with a daily update, considering the decreasing forecast skills with increasing temporal distance from the forecast emission (Haiden et al., 2022), and choosing a suitable time interval to capture substantial changes in agrometeorological conditions.

Tab.3 - Agrometeorological indices computed (or under development) throughout the year (Y) or during a specific period (S). Those with "*" need both HRES and E5L data.

Tab.3 - Indici agrometeorologici calcolati (o in sviluppo) nel corso dell'anno (Y) o in periodi specifici (S). "*" indici che richiedono dati sia HRES che E5L.

Name	Description	Period
Rr_{cum}	Cumulated precipitation for daily values $Rr > 5$ mm	Y
CDD	Consecutive Dry Day	Y
Rr_{20}	N. days with $Rr > 20$ mm	Y
$ET0_{cum}$	Cumulated Evapotranspiration	Y
LFD	N. Late frost days	S
In progress		
CMI*	Crop Moisture index	Y
GDD*	Growing degree days	Y
THI	Temperature-Humidity index	S
CU*	Chilling Units	S
CTx_{35}^*	Hot dry days with $T > 35^\circ$ and wind speed > 20 km/h	S
SPI*/SPEI*	Standardized Precipitation Index and Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index	Y
ΔT_n^* ...	Temperature Anomalies	Y
...

The data flow for retrieving, storing, pre-processing and processing raw data to derive the agrometeorological indices and for publishing results in terms of graphs, maps, reports and datasets is reported in Figure 1. The whole data flow is automatically managed in Azure Cloud Storage in the Python computing environment (Python Software Foundation, 2022).

Results and Discussion

In this section, we present a brief overview of some of the 7-days agrometeorological forecast indices already produced. The LFD maps (Fig. 2a) refer to the 00 forecast run of April 2, 2023 and cover one week until April 8, 2023 while the Rr_{cum} and Rr_{20} precipitation maps (Fig. 2b and 2c, respectively) derive from the 00 forecast run of April 27, 2023 and cover one week until May 3, 2023. As for Rr_{cum} ,

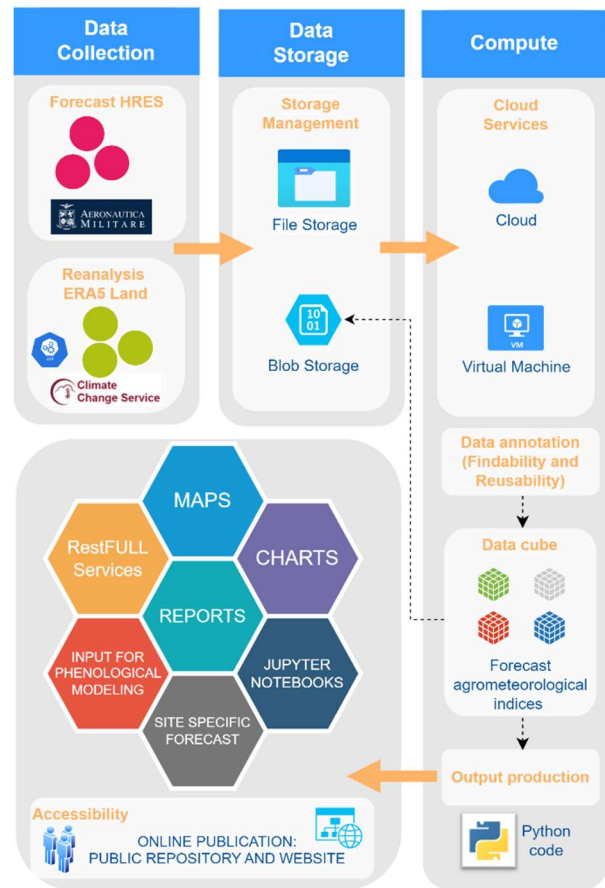


Fig.1 - Data flow for the agrometeorological forecast production.

Fig.1 - Diagramma di flusso per la produzione delle previsioni agrometeorologiche.

the daily precipitation greater than 5 mm is accumulated day by day from the 1st to the 7th forecast day.

The other two indices show the number of occurrences of a specific event ($tasmin < 0$ °C in April for LFD and $ppn > 20$ mm for Rr_{20}), expressed in number of days, from the 1st to the 7th forecast day.

Rr_{20} maps allow for a better understanding of the heavy rain distribution, given that a daily precipitation of at least or more than 20 mm is dangerous for agriculture.

For example, the large precipitation amount observed in North-West (Piedmont region) in the d+4 and d+5 maps of Rr_{cum} (Fig. 2b) likely correspond to the heavy rain days (over 20 mm per day) shown by the forecast Rr_{20} maps (Fig.2c). Similar comments may be done for the South in relation to d+5 and d+6 Rr_{cum} maps for Campania region, d+6 Rr_{cum} map for Sicily region, and d+6 and d+7 Rr_{cum} maps for Calabria region.

In Figure 2a we can observe some late frost days predicted in the beginning of April 2023. The maps show widespread and consecutive frosts on the Alps and Apennines, also revealing episodes that involved the central-western Po Valley and most Central Italy areas.

The predicted phenomena actually occurred, suggesting the importance and usefulness of agrometeorological forecasts

in mitigating or preventing heavy rain and frost damages to farms.

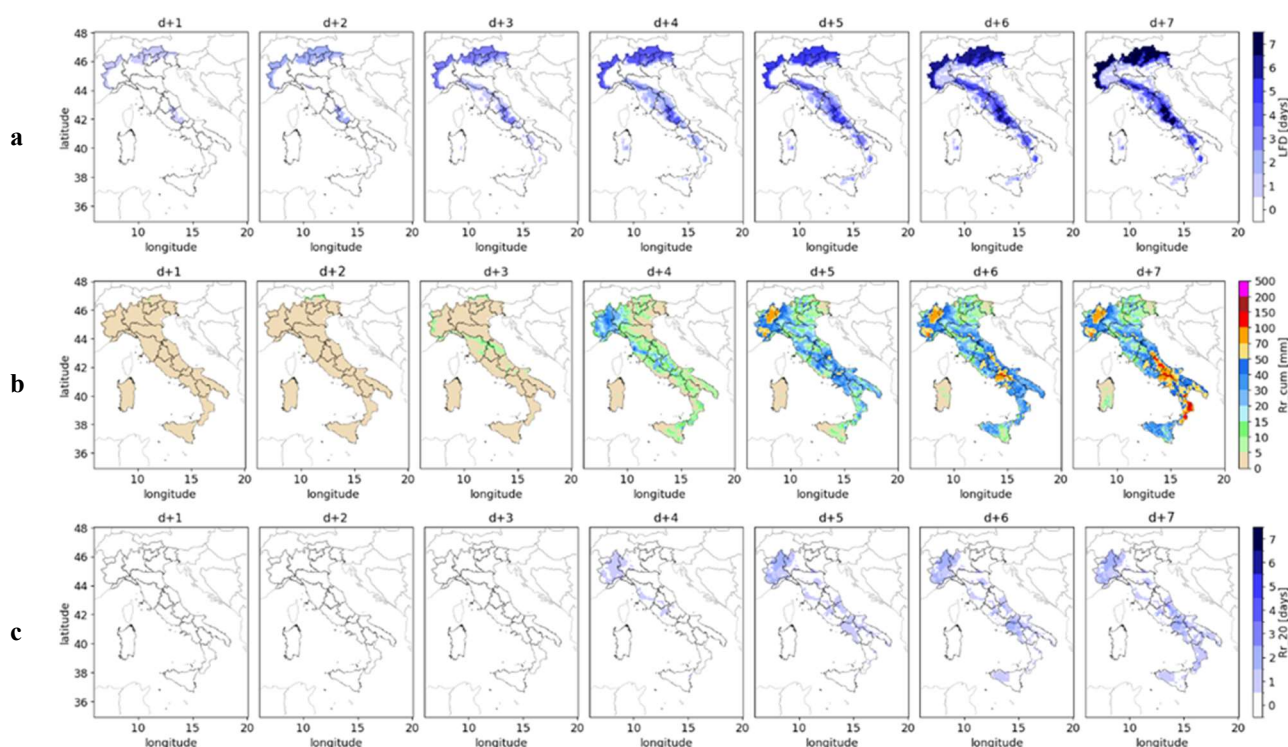


Fig.2 - Examples of 7 days forecast maps for LFD (a), Rr_{cum} (b) and Rr_{20} (c) indices.

Fig.2 - Esempi di mappe di previsione a 7 giorni degli indici LFD (a), Rr_{cum} (b) e Rr_{20} (c).

Conclusions

The activities carried out by the Observatory of Agro-Meteo-Climate make it possible to provide a large number of different forecast outputs, of which the maps presented here are a first step. Many further elaborations have been in fact undertaken to build an agrometeorological forecast service at a national scale.

As an example, the temperature forecasts are already used (starting from the current growing season) as input for phenological models of black locust, olive and grape, allowing to provide weekly forecasting maps within the IPHEN project, published on the web site of the Italian National Rural Network (<https://www.reterurale.it/bollettinofeno>).

The data flow developed to integrate the reanalysis time-series with the forecast data will allow for several analyses, which also take into account the historical conditions, not only highlighting departures from the norm, but also describing phenomena during the entire growing season (e.g. GDD, CU). A further application of forecast data, integrated with observational data, will concern the production of site-specific forecasts related to the stations of the National Agrometeorological Network (Rete Agrometeorologica Nazionale – RAN), which is managed by the CREA – Agriculture and Environment (Dal Monte et al., 2022).

The whole process presented is inspired by the FAIR principles (Wilkinson et al., 2016), with the aim to ensure that the resources produced would be findable, fully

accessible and reusable, also thanks to the detailed annotation with rich metadata.

Acknowledgements

HRES data for Italy has been supplied by the Italian Air Force Meteorological Service (which is the national computing representative of the ECMWF), under a specific agreement between Difesa Servizi S.p.A. (in-house company of the Ministry of Defence) and CREA.

References

- 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.
- Esposito S., Beltrano M.C., De Natale F., Di Giuseppe E., Iafrate L., Libertà A., Parisse 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.
- Field C. B., Barros V., Stocker T. F., Dahe Q. 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.

- Dal Monte G., Esposito S., Alilla R., De Natale F., Fanchini D., Pepe A.G., Scaglione M., Parisse B., 2022. The RAN (National Agrometeorological Network): reactivation and outlook. In: Ventura F.; Cola G.; Poggi G. M. (2022) Atti del XXIV Convegno Nazionale di Agrometeorologia. L'Agrometeorologia a supporto dei sistemi culturali e zootecnici. Bologna: Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari - Università di Bologna, pp.112-116. ISBN 9788854970892. DOI 10.6092/unibo/amsacta/6936
<http://amsacta.unibo.it/id/eprint/6936/>
- Haiden T., Janousek M., Vitart F., Bouallègue Z. B., Ferranti L., Prates F., Richardson D., 2022. Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2021 upgrade. Reading, UK: European Centre for Medium Range Weather Forecasts. doi: 10.21957/xqnu5o3p. url: <https://www.ecmwf.int/node/20469>
- 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.
- 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.ppt
- Muñoz-Sabater J., Dutra E., Agustí-Panareda A., Albergel C., Arduini G., Balsamo G., Boussetta S., Choulga M., Harrigan S., Hersbach H., Martens B., Miralles D.G., Piles M., Rodríguez-Fernández N.J., Zsoter E., Buontempo C., Thépaut J.N., 2021. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. Earth Syst. Sci. Data, 13: 4349-4383, 10.5194/essd-13-4349-2021 <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- 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., 2022. A monthly agrometeorological analysis at a national scale in the online magazine "Pianeta PSR". In: Ventura F.; Cola G.; Poggi G. M. (2022) Atti del XXIV Convegno Nazionale di Agrometeorologia. L'Agrometeorologia a supporto dei sistemi culturali e zootecnici. Bologna: Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari - Università di Bologna, pp. 161-166. ISBN 9788854970892. DOI 10.6092/unibo/amsacta/6936
<https://doi.org/10.6092/unibo%2Famsacta%2F6936>
- Python Software Foundation, 2022 Python Language Reference, version 3.11. <http://www.python.org>
- Segnalini M., Bernabucci U., Vitali A. et al., 2013. Temperature humidity index scenarios in the Mediterranean basin. Int J Biometeorol 57, 451-458. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0571-5>
- Tavolo Nazionale di coordinamento nel settore dell'agrometeorologia, 2022. Incontro tematico: Uso delle previsioni meteo nel settore dell'agrometeorologia. Web conference, 30 maggio 2022 (<https://www.reterurale.it/incontritematicitavolo>)
- Wilkinson M., Dumontier M., Aalbersberg I., et al., 2016. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship, Sci. Data 3, 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
- 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
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 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.

MISFITS-GPT: SUPPORTO GRATUITO ALLA REDAZIONE DEI BOLLETTINI FITOSANITARI TRAMITE MODELLISTICA DI SIMULAZIONE, PREVISIONI AGROMETEEO ED INTELLIGENZA ARTIFICIALE

MISFITS-GPT: FREE SUPPORT FOR PHYTOSANITARY BULLETIN WRITING THROUGH SIMULATION MODELING, AGROMETEOROLOGICAL FORECASTING, AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Simone Bregaglio* e il gruppo MISFITS
*simoneugomaria.bregaglio@crea.gov.it

Abstract

In Italia, l'attuazione di pratiche di gestione integrata delle specie nocive è gestita a livello regionale. Questo approccio decentralizzato ha portato all'assenza di protocolli standardizzati per la raccolta dati e il funzionamento di modelli, rendendo il sistema squilibrato a livello nazionale. Misfits è un gruppo di lavoro composto dal Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Economia Agraria e dieci servizi fitosanitari regionali italiani. Misfits ha sviluppato un sistema di supporto alle decisioni partecipato, *magoh* (Magarey model hourly), basato su modellistica di simulazione, dati agrometeorologici previsionali ed intelligenza artificiale, al fine di erogare il rischio di infezione delle principali avversità fungine, in tempo reale ed omogeneamente a livello nazionale. L'utilizzo di API pubbliche e la trasparenza nella comunicazione di ogni fase di sviluppo sono un tratto distintivo di questa iniziativa. Dashboard e codice sorgente di *magoh* sono accessibili pubblicamente.

Abstract

In Italy, the implementation of plant disease-integrated management practices is managed at the regional level. This decentralized approach has led to the absence of harmonised and standardized protocols for data collection and model implementation, resulting in an unbalanced national system. Misfits, a working group composed of the Council for Agricultural Research and Economics and ten regional phytosanitary services in Italy, has developed a participatory decision support system called *magoh* (Magarey model hourly). This system utilizes simulation modelling, predictive agrometeorological data, and artificial intelligence to provide consistent real-time risk assessments of major fungal diseases nationwide. The initiative stands out for the use of public APIs and transparent communication at every stage of the DSS development. The dashboard and source code of *magoh* are publicly accessible.

Parole chiave

Rischio di infezione, Sistemi di supporto alle decisioni, Approccio partecipativo, Intelligenza artificiale, API pubbliche

Keywords

Infection risk, Decision support systems, Participatory approach, Artificial intelligence, Public APIs

Introduzione

L'adozione effettiva e su larga scala dei principi di gestione integrata (IPM) dei patogeni delle colture richiede la combinazione di diverse strategie di controllo, tra cui metodi di controllo biologici, colturali e chimici. L'implementazione di pratiche IPM ha dimostrato di consentire una riduzione dell'uso di agrofarmaci di sintesi ed una diminuzione conseguente dell'inquinamento ambientale, oltre a portare maggiori benefici economici per gli agricoltori (Caffi et al., 2019). Inoltre, la IPM può anche contribuire alla conservazione della biodiversità, al miglioramento della salute del suolo e alla protezione della salute umana (Wyckhuys et al., 2021).

L'attuazione delle pratiche di gestione integrata delle specie nocive in Italia è regolamentata dall'Unione Europea e gestita a livello regionale, con un conseguente approccio decentralizzato in cui ogni regione è tenuta ad elaborare in autonomia i protocolli di monitoraggio e di redazione dei bollettini settimanali di difesa integrata, affidandosi obbligatoriamente a diversi sistemi di supporto alle decisioni digitali (DSS). Tuttavia, la mancanza di protocolli standardizzati a livello nazionale per la raccolta dei dati e il funzionamento dei modelli, ha portato a un sistema squilibrato per l'attuazione delle pratiche di difesa integrata a livello nazionale. Le differenze climatiche, geografiche e di sistemi colturali tra le regioni (Spano et al., 2020), insieme alle variazioni nella capacità istituzionale e nei finanziamenti, hanno ulteriormente esacerbato la frammentazione del sistema. La dispersione delle prove in campo ha anche portato a una raccolta di dati incompleta o distorta, rendendo difficile lo sviluppo di serie di dati coerenti per la calibrazione dei modelli e limitando l'accuratezza e

l'affidabilità dei modelli di malattia su vaste aree (Bregaglio et al., 2022).

Il gruppo di lavoro *misfits* (modellistica fitosanitaria) si è costituito nel 2020 e vede la partecipazione del Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'economia agraria (*crea*) e di dieci servizi fitosanitari regionali italiani (Abruzzo, Basilicata, Emilia-Romagna, Lazio, Liguria, Lombardia, Marche, Piemonte, Sardegna, Veneto). Negli ultimi tre anni il gruppo ha sviluppato degli strumenti digitali che permettono l'omogeneizzazione dei protocolli di monitoraggio (smart app *mira*) e di erogazione del supporto decisionale (modellistica di simulazione). Nella stagione 2023 il gruppo ha messo a punto un sistema di supporto alle decisioni partecipato, basato sull'integrazione di modellistica di simulazione basata su processi, dati agrometeorologici previsionali ed intelligenza artificiale, al fine di erogare il rischio di infezione delle principali avversità fungine presenti sul nostro territorio, in tempo reale ed omogeneamente a livello nazionale, con lo scopo di supportare i servizi tecnici regionali nella preparazione dei bollettini fitosanitari.

Materiali e metodi

Il modello magoh (magarey model hourly)

Il cuore del sistema previsionale *misfits* 2023 è un semplice modello generico di infezione fungina, *magoh*, che è stato sviluppato a partire dal lavoro seminale di Magarey et al. (2005), che si fonda sul concetto di tempo idrotermico (*ti*). I requisiti idrotermici dei diversi patogeni sono tradotti in parametri, i quali guidano delle funzioni di risposta alla temperatura, all'umidità relativa e alla bagnatura fogliare. La selezione dei patogeni simulati si è basata sulle priorità indicate dai servizi fitosanitari

italiani e dalle agenzie di sostegno rurale coinvolte nel progetto. La parametrizzazione di questi organismi, riportata in Tabella 1 è stata sviluppata a partire dalla letteratura e può essere implementata ricorsivamente dagli utenti sulla base di ulteriori ricerche bibliografiche, esperimenti di laboratorio o esperienze sul campo, attraverso la valorizzazione di un foglio [Google](#) liberamente accessibile, consentendo inoltre agli utenti di aggiungere nuovi patogeni con facilità.

Tab.1- Richieste idrotermiche dei patogeni inclusi di default in magoh

Tab.1- Hydrothermal demands of pathogens included by default in magoh

Patogeno	T _{min} °C	T _{opt} °C	T _{max} °C	W _{min} hour	W _{max} hour	D50 hour	RH _{min} %*
<i>P. infestans</i>	5	15	30	6	24	6	75
<i>M. fructigena</i>	15	20	30	7	24	6	75
<i>S. oleaginea</i>	5	20	30	15	24	10	75
<i>V. inaequalis</i>	6	20	30	6	40	20	75
<i>P. cubensis</i>	5	19	30	2	24	3	75
<i>Fusarium spp.</i>	7	22	31	20	24	6	75
<i>T. deformans</i>	5	21	37	12	24	12	75
<i>L. Taurica</i>	2	24	35	7	24	6	75
<i>P. cladosporium</i>	2	24	35	7	24	6	75
<i>B. lactucae</i>	5	15	25	4	24	6	75
<i>Septoriosi</i>	10	25	30	12	24	6	75
<i>P. recondite</i>	12	14	20	5	24	2	75
<i>P. striiformis</i>	5	8.5	18	5	24	2	75
<i>F. pyrorum</i>	2	24	35	7	24	6	75
<i>M. oryzae</i>	10	28	35	3	24	6	75

T_{min}: temperatura minima di infezione (°C)

T_{opt}: temperatura ottimale di infezione (°C)

T_{max}: temperatura massima di infezione (°C)

W_{min}: bagnatura fogliare minima per l'infezione (ore)

W_{max}: bagnatura fogliare non limitante l'infezione (ore)

D50: interruzione di bagnatura fogliare critica (ore)

RH_{min}: soglia di umidità relativa critica (%)

Ogni ora, l'algoritmo considera la presenza di bagnatura fogliare (utilizzando direttamente il dato previsionale oppure stimandola in funzione dell'umidità relativa e delle precipitazioni). In caso di bagnatura, viene calcolata la funzione di risposta alla temperatura f_t , (0-1), Eq.1, Fig. 1 (Yan e Hunt, 1999).

$$f_t = \left(\frac{T_{max}-T}{T_{max}-T_{opt}} \right) \left(\frac{T-T_{min}}{T_{opt}-T_{min}} \right)^{(T_{opt}-T_{min})/(T_{max}-T_{opt})} \quad (1)$$

dove T (°C) è la temperatura oraria e T_{min}, T_{opt} e T_{max} sono le cardinali termiche specifiche per diversi patogeni.

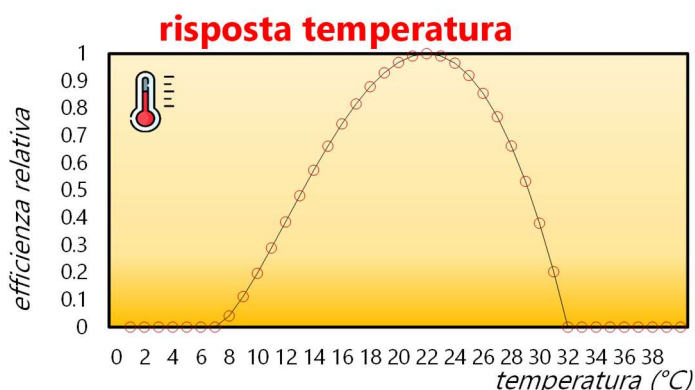


Fig. 1- Funzione di risposta alla temperatura eseguita in magoh

Fig. 1- Temperature response function implemented in magoh

Se invece la foglia è asciutta, viene aggiunta un'ora ad un contatore di ore di secco. Nel caso in cui questo contatore sia inferiore al parametro D50, viene calcolata la funzione di risposta all'umidità relativa riportata in Equazione 2 e Figura 2. Questa funzione vale in presenza di bagnatura fogliare. Il t_i è quindi dedotto come prodotto delle funzioni di risposta alla temperatura e all'umidità relativa.

$$f(RH) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{1}{2} \times \left[RH - \frac{1}{2} \times (RH_{lw} + RH_{min}) \right] \right)} \quad (2)$$

dove RH (%) è l'umidità relativa oraria, RH_{lw} (%) è la soglia di umidità relativa che innesca la bagnatura fogliare e RH_{min} è l'umidità relativa critica per lo specifico patogeno.

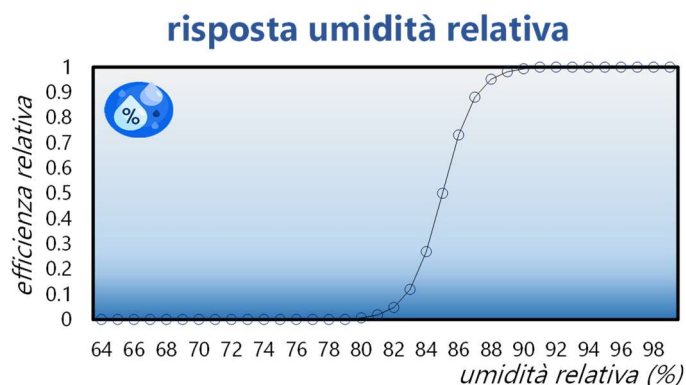


Fig. 2- Funzione di risposta all'umidità relativa implementata in magoh

Fig. 2- Relative humidity response function implemented in magoh

L'ultima ora del giorno, il t_i sperimentato dal patogeno nella giornata viene accumulato e confrontato con dei valori di riferimento, derivati dalla funzione di risposta alla bagnatura fogliare (Figura 3).

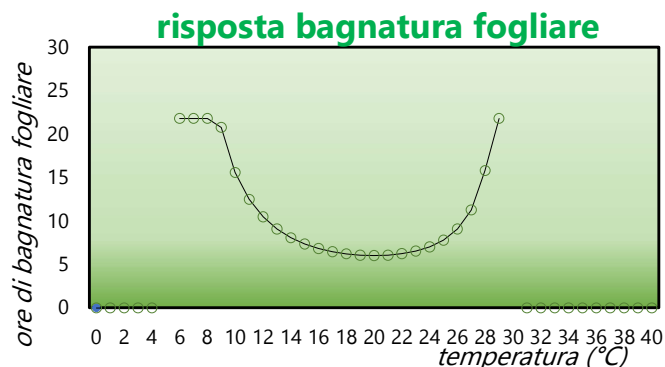


Fig. 3- Funzione di risposta alla bagnatura fogliare implementata in magoh

Fig. 3- Leaf wetness response function implemented in magoh

Il modello considera che il periodo favorevole per il patogeno possa estendersi da un giorno al successivo, se all'ora 23 il contatore di secco è inferiore a D50 e se c'è la presenza di bagnatura fogliare o precipitazioni. Al termine del giorno il t_i viene tradotto in un indice di rischio che viene classificato in 5 categorie: molto basso ($t_i < 30\% W_{min}$), basso ($30\% W_{min} < t_i < 70\% W_{min}$), medio ($70\% W_{min} < t_i < W_{min} + 0.3 \times (W_{max} - W_{min}) / W_{max}$), alto ($W_{min} + 0.3 \times (W_{max} - W_{min}) / W_{max} < t_i < W_{min} + 0.7 \times (W_{max} - W_{min}) / W_{max}$), molto alto ($t_i > W_{min} + 0.7 \times (W_{max} - W_{min}) / W_{max}$). *magoh* è stata presentata ai Servizi Fitosanitari e alle Agenzie Regionali attraverso riunioni

telematiche e mediante un video, accessibile all'indirizzo <https://www.kapwing.com/videos/639d9d0b885a1b0204acc132>

Integrazione del modello con dati previsionali ed intelligenza artificiale.

Il modello *magoh* è stato interfacciato con i dati previsionali orari a 7 giorni erogati dal servizio MeteoBlue, considerando più di 800 stazioni agrometeorologiche sparse sul territorio delle 10 regioni partecipanti al progetto. Ogni giorno il modello viene eseguito e consente di ottenere una previsione del rischio di infezione per tutti i patogeni elencati in Tabella 1. Inoltre, i dati agrometeorologici previsionali vengono aggregati al fine di restituire ai tecnici dei Servizi e delle Agenzie regionali un'ulteriore fonte previsionale di dati agrometeo giornalieri, sintetica ed in tempo reale. I risultati del modello previsionale e i dati agrometeo vengono quindi utilizzati in input per effettuare delle chiamate API al servizio OpenAI ChatGPT, in versione gpt-3.5-turbo. La stringa di richiesta del messaggio, che viene elaborata specificamente per ciascuna stazione, è nella forma: "Elabora un giudizio sintetico per gli agricoltori sulla base del rischio di infezione per la stazione [X] ed il patogeno [Y] sulla base degli output del modello previsionale *magoh* per la settimana successiva, in funzione della fase fenologica. Aggiungi un consiglio fitoiatrico tenendo a mente che i servizi fitosanitari e le agenzie regionali devono essere consultati per approfondimenti. Grazie!"

Al termine dell'esecuzione del flusso di lavoro, i dati agrometeorologici, i risultati del modello *magoh* e le elaborazioni testuali derivanti dall'intelligenza artificiale vengono erogati in un dashboard sviluppato con Looker, liberamente accessibile all'indirizzo <https://lookerstudio.google.com/reporting/1bf6c31d-f0c1-4eb2-b55f-488bacc7dd96>.

Risultati e discussioni

Una prima realizzazione di *magoh* è stata effettuata come foglio di calcolo Excel, utilizzando il linguaggio native Visual Basic for Applications. L'intento era quello di permettere ai tecnici di interagire direttamente con lo strumento previsionale per acquisire maggiore familiarità (Figura 4).



Fig. 4- Interfaccia grafica del modello *magoh* come foglio di calcolo Excel e linguaggio Visual Basic for Applications.

Fig. 4- Graphical interface of the *magoh* model as Excel spreadsheet and Visual Basic for Applications language.

In seguito, si è deciso di interfacciare il modello *magoh* con i dati previsionali delle stazioni agrometeo sparse sul territorio nazionale per rendere il servizio più adeguato ad un supporto in tempo reale e su larga scala. A tal fine il modello *magoh* è stato riscritto in linguaggio C#. La schermata di apertura del dashboard Looker, che presenta le elaborazioni del modello *magoh*, è presentata in Figura 5.



Fig. 5- Interfaccia grafica per la visualizzazione dei risultati del modello *magoh* in modalità previsionale: dati agrometeorologici sintetici e indice di rischio di infezione.

Fig. 5- Graphical interface displaying the results of the *magoh* model in forecast mode: synthetic agrometeorological data and infection risk index.

Questo dashboard viene aggiornato quotidianamente e permette di filtrare i risultati del modello *magoh* nelle diverse regioni, stazioni e per i patogeni fungini disponibili tramite menu a tendina. I dati giornalieri previsti nei 7 giorni successivi relativamente a temperatura massima e minima (°C), umidità relativa massima e minima (%), precipitazioni (mm) e bagnatura fogliare (ore) per ogni punto stazione sono consultabili attraverso grafici a linee o barre (Figura 5).

La distribuzione delle stazioni agrometeorologiche per le quali viene effettuata la previsione del rischio di infezione è mostrata in Figura 6.



Fig. 6- Distribuzione geografica delle stazioni agrometeorologiche i cui dati previsionali vengono utilizzati dal modello *magoh* per stimare il rischio di infezione

Fig. 6- Geographical distribution of the agrometeorological stations whose forecast data are used to predict the infection risk by the *magoh* model.

Il grafico posizionato in basso nella dashboard mostra il rischio di infezione calcolato da *magoh* per la data corrente e per i sette

giorni successivi. Il rischio è suddiviso in cinque categorie, che vanno da molto basso a molto alto, ed è rappresentato attraverso cinque istogrammi con altezza via via crescente. Modificando la selezione della stazione meteorologica e del patogeno, il grafico verrà aggiornato in tempo reale (Figura 7).



Fig. 7- Indice di rischio di infezione elaborato dal modello magoh per 7 giorni a partire dalla data corrente.

Fig. 7- Index of infection risk processed by magoh model for 7 days from the current date.

Nella versione attuale del modello magoh la stima del rischio di infezione prescinde dalla fase fenologica della pianta, che non è ancora stata implementata nel modello.

La dashboard include una seconda schermata dove è possibile consultare le raccomandazioni fitosanitarie generate da ChatGPT. ChatGPT elabora e sintetizza i risultati ottenuti dal modello magoh per ogni stazione meteorologica e patogeno, fornendo una descrizione dello stato di rischio per il giorno corrente e per i sette giorni successivi. Inoltre, produce dei consigli per la gestione fitosanitaria che possono essere utilizzati dai servizi fitosanitari regionali a supporto della stesura dei bollettini fitosanitari (Figura 8).

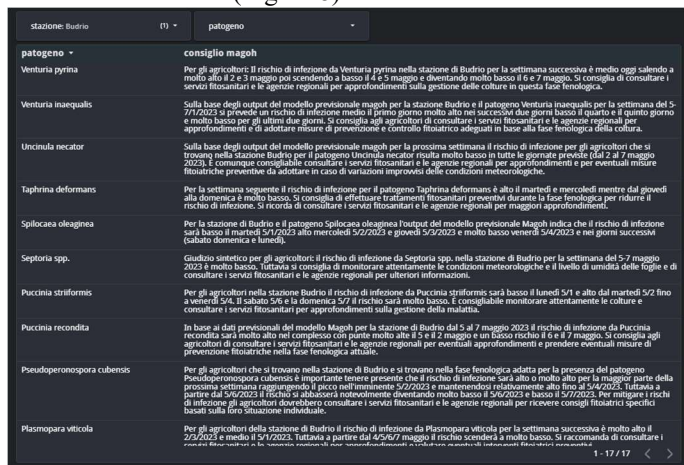


Fig. 8- Seconda schermata della dashboard di magoh con le raccomandazioni fitosanitarie elaborate da ChatGPT.

Fig. 8- Second page of magoh dashboard with the phytosanitary recommendations elaborated by ChatGPT.

Alcuni esempi

Nella Figura 9 è riportato un esempio di applicazione del modello magoh per la previsione del rischio di infezione della peronospora della patata (*Phytophthora infestans*) nella stazione di Pesaro per la settimana dal 1 al 7 maggio.

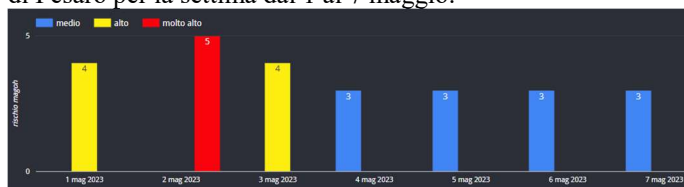


Fig. 9- Indice di rischio di infezione di P. infestans a Pesaro dal 1 al 7 Maggio

Fig. 9- Index of infection risk for P. infestans in Pesaro from 1 to 7 May.

Dall'analisi del grafico del rischio di infezione, emerge che nei primi tre giorni della settimana è presente un elevato livello di rischio di infezione da parte del patogeno. Questo risultato è supportato dai grafici delle temperature (Figura 10A), dell'umidità relativa (Figura 10B) e delle precipitazioni (Figura 10C), i quali mostrano che i primi tre giorni della settimana sono quelli con le condizioni ambientali più favorevoli all'instaurarsi dell'infezione. In particolare, la temperatura media è vicina a quella ottimale per il patogeno (15°C, Tabella 1), mentre il livello di umidità e le precipitazioni hanno causato una quantità di ore di bagnatura fogliare (Figura 10D), superiore alle 6 ore minime necessarie per l'instaurarsi dell'infezione (Tabella 1).

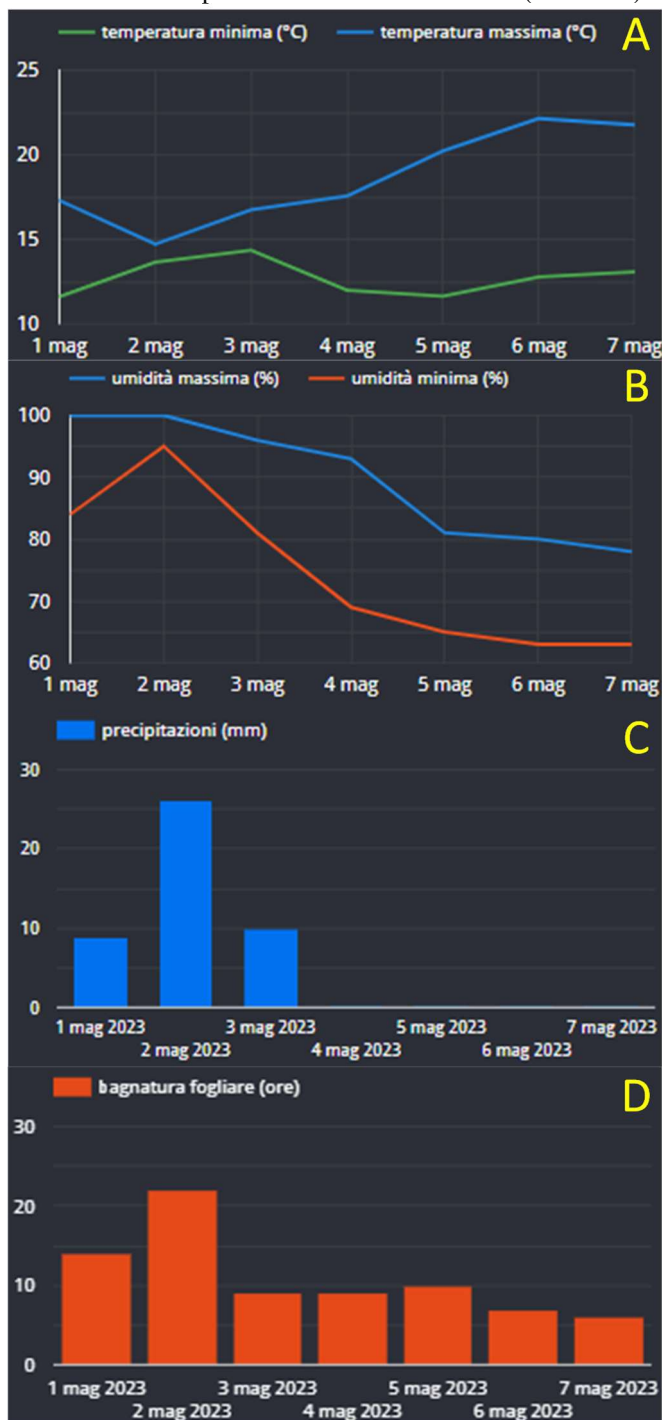


Fig. 10- Andamento di (A) temperatura (B) umidità (C) precipitazioni e (D) bagnatura fogliare a Pesaro dal 1 al 7 Maggio.

Fig. 10- Trend of (A) temperature, (B) relative humidity, (C) precipitation, (D) leaf wetness in Pesaro from 1 to 7 May

Date queste condizioni climatiche e la stima di rischio prodotta da *magoh*, ChatGPT ha elaborato la seguente raccomandazione: “Gli agricoltori della stazione di Pesaro devono prestare particolare attenzione al patogeno *Phytophthora infestans* durante la settimana successiva. Il rischio di infezione è molto alto il martedì 5/2/2023 e alto il lunedì 5/1/2023 e il mercoledì 5/3/2023 mentre per il resto della settimana il rischio è medio. Si raccomanda di consultare i servizi fitosanitari e le agenzie regionali per approfondimenti e di adottare pratiche fitoiatriche appropriate per prevenire la diffusione del patogeno”.

Se consideriamo la stessa stazione meteorologica e la stessa settimana, ma questa volta analizziamo il patogeno *Puccinia striiformis*, responsabile della ruggine gialla, possiamo notare che il rischio di infezione va da medio a basso a molto basso (Figura 11).

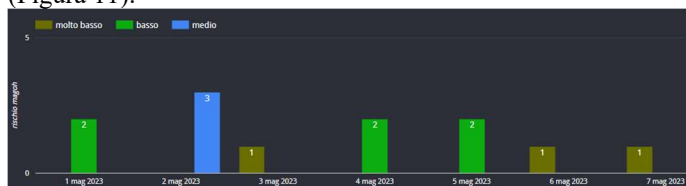


Fig. 11- indice di rischio di infezione di *P. striiformis* a Pesaro dal 1 al 7 Maggio.

Fig. 11- Index of infection risk for *P. striiformis* in Pesaro from 1 to 7 May

Per quanto riguarda questo patogeno, occorrono almeno 24 ore di bagnatura fogliare alla temperatura ottimale di 8.5°C affinché si instauri l'infezione (Tabella 1). Tuttavia, come si può osservare nella Figura 10, nessun giorno della settimana presenta una durata della bagnatura fogliare superiore a 24 ore e le temperature sono mediamente superiori alla temperatura ottimale per il patogeno. Pertanto, in queste condizioni, il rischio di infezione del patogeno risulta essere basso.

In questo secondo esempio, il messaggio di raccomandazione generato da ChatGPT è il seguente “Sulla base delle previsioni del modello previsionale *magoh* per la settimana successiva il rischio di infezione del patogeno *Puccinia striiformis* nella stazione di Pesaro è compreso tra basso e molto basso con l'eccezione del giorno 5/2/2023 quando è medio. - Importante ricordare che la fase fenologica delle colture colpite dal patogeno può influire sull'efficacia dei trattamenti e sulla tempistica dell'intervento”.

Il rischio di infezione per *P. infestans* diminuisce notevolmente se ci spostiamo nella stazione di Verdeggia (Figura 12A) rispetto alla precedente stazione di Pesaro (Figura 9), grazie a una più sfavorevole condizione idrotermica.

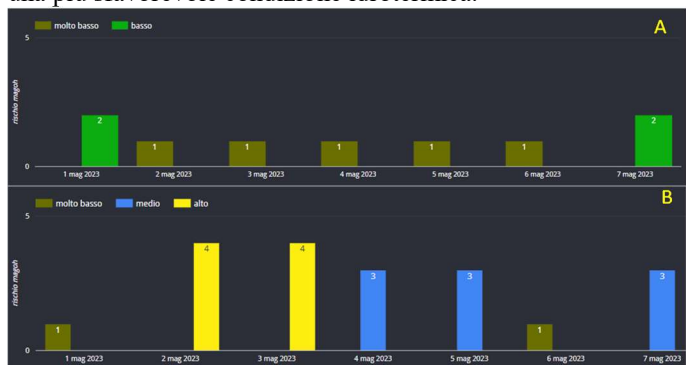


Fig.12- Indice di rischio di infezione di (A) *P. infestans* a Verdeggia e (B) *P. striiformis* a Vinchio dal 1 al 7 Maggio.

Fig.12- Index of infection risk for (A) *P. infestans* in Verdeggia and (B) *P. striiformis* in Vinchio from 1 to 7 May

D'altra parte, il rischio di infezione di *P. striiformis* aumenta notevolmente nella stazione di Vinchio (Figura 12B) rispetto alla stazione di Pesaro (Figura 11), a causa delle condizioni idrotermiche più favorevoli, a dimostrazione della capacità del modello *magoh* di discriminare il rischio di infezione in risposta alle variazioni delle condizioni ambientali.

Conclusioni

L'integrazione di modellistica epidemiologica basata su processi, previsioni agrometeorologiche ed intelligenza artificiale per elaborazione del linguaggio naturale costituisce il sistema di supporto *misfits*. L'utilizzo di API pubbliche e la trasparenza nella comunicazione di ogni fase di sviluppo è un tratto distintivo di questa iniziativa (il gruppo utilizza attivamente Slack come piattaforma di messaggistica e di aggiornamento). Ogni strumento sviluppato da *misfits* è stato reso pubblicamente accessibile, anche al di fuori del gruppo, come il dashboard e il codice sorgente del modello *magoh*. L'uso di API OpenAI per generare raccomandazioni standardizzate e imparziali basate sui risultati del modello è in fase prototipale e soggetto alla valutazione degli esperti del dominio facenti parte del gruppo. L'utilizzo che ne viene fatto però è funzionale unicamente all'elaborazione di giudizi sintetici a supporto della redazione dei bollettini, al fine di sintetizzare grandi quantità di dati non strutturati provenienti dal modello e dalle previsioni per supportare i tecnici dei servizi fitosanitari per combinare le informazioni, estrarre spunti rilevanti e fornire raccomandazioni personalizzate e obiettive per il controllo dei patogeni delle colture. Il sistema ha quindi armonizzato il monitoraggio fitopatologico e l'erogazione del supporto decisionale agli agricoltori, supportando l'elaborazione di strategie di difesa parsimoniose in termini di numero di trattamenti e di costo e contribuendo a valorizzare le externalità degli agroecosistemi attraverso la gestione sostenibile dei patogeni in agricoltura.

Bibliografia

- Bregaglio S., Savian F., Raparelli E., Morelli D., Epifani R., Pietrangeli F., Nigro C., Bugiani R., Pini S., Culatti P., Tognetti D., Spanna F., Gerardi M., Delillo I., Bajocco S., Fanchini D., Fila G., Ginaldi F., Manici L.M. 2022. A public decision support system for the assessment of plant disease infection risk shared by Italian regions. *J. Environ. Manage.*, 317, 115365
- Caffi T., Rossi V., Bugiani R., Legler S.E., Rossi G., Battisti A., Spanna F. 2019. A review of integrated pest management in Europe, from practice to theory and science. *Crop Prot*, 109, 1-14.
- Magarey R.D., Sutton T.B., Thayer C.L. 2005. A simple generic infection model for foliar fungal plant pathogens. *Phytopathology*. Jan; 95(1):92-100.
- Spano D., Mereu V., Bacciu V., Marras S., Trabucco A., Adinolfi M., Barbato G., Bosello F., Breil M., Chiriaco M. V., Coppini G., Essenfelder A., Galluccio G., Lovato T., Marzi S., Masina S., Mercogliano P., Mysiak J., Noce S., Pal J., Reder A., Rianna G., Rizzo A., Santini M., Sini E., Staccione A., Villani, Zavatarelli M., 2020. Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia. Fondazione CMCC -
- Wyckhuys K. Sanchez-Bayo F., Aebi A., Van Lexmond M.B, Bonmatin J.M., Goulson D., Mitchell E. 2021. Stay True To Integrated Pest Management. *Science* 371,133-133
- Yan W. Hunt L.A. 1999. An Equation For Modelling The Temperature Response Of Plants Using Only The Cardinal Temperatures. *Annals Of Botany*, 84, 607-614

SERVIZI ECOSISTEMICI A SCALA DI BACINO DELLA SOSTANZA ORGANICA NEL TERRENO

SOIL ORGANIC MATTER AND ECOSYSTEM SERVICES AT WATERSHED SCALE

Arianna Toffanin¹, Giampaolo Rossi¹, Carmelo Maucieri^{2*}, Graziano Paulon¹, Maurizio Borin²

¹Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) – Piazza Indipendenza 25, 30027 – San Donà di Piave (VE) www.bonificavenetorientale.it

²Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e Ambiente — DAFNAE, Università di Padova, Campus di Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 – Legnaro (PD). *carmelo.maucieri@unipd.it

Abstract

The increase of soil water holding capacity is a key effect of soil organic carbon (SOC), since rainfall events are getting more intense and uneven, complicating the management of the water discharge. Thereby, a field scale four-year experiment was led at the experimental farm of the Consorzio di Bonifica Veneto Orientale, in San Donà di Piave (VE) to evaluate the short-term effect of ten strategies, as combinations of irrigation (drip vs rainfed), organic fertilizers (compost vs solid slurry), and cover crops (CCs - triticale vs CCs rotation vs no CCs), on SOC in a maize-soybean rotation. Nine out of ten strategies increased SOC, at best equal to 10,3 Mg ha⁻¹ at 0-0,40 m depth (irrigation × compost × CCs rotation). This value was then used to simulate its potential benefit on water storage during April-September period at watershed scale. If applied to the surface of herbaceous crops (21.147 ha), it would reduce the outflow of about 2,2 million cubic meters (2,2 % to 5,4 % of the current). The volume potentially stored represents on average from 6,4 % to 12,9 % of the water used for irrigation of maize and soybean over the period 2018-2022.

Parole chiave

Sostanza organica, bacino idraulico, irrigazione, efficienza d'uso dell'acqua

Keywords

Organic matter, hydraulic watershed, irrigation, water use efficiency

Introduzione

Il contenuto di carbonio organico nel suolo (SOC) è uno degli aspetti fondamentali per migliorare la resilienza degli agrosistemi ai cambiamenti climatici (Lal, 2004). In questo contesto, è stato costituito il Focus Group EIP-AGRI "Soil Organic Matter in Mediterranean regions" che ha integrato competenze diverse per formulare soluzioni valide e facilmente implementabili per incrementare il contenuto di SOC nell'area mediterranea, al fine di superare la condizione troppo diffusa di suoli con un contenuto di SOC inferiore all'1% nell'Europa meridionale (Zdruli *et al.*, 2004). L'aumento dello stock di SOC può contribuire all'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile (Soussana *et al.*, 2019) per raggiungere l'obiettivo 2.4 "Entro il 2030, garantire sistemi di produzione alimentare sostenibili e attuare pratiche agricole resilienti che aumentino la produttività e la produzione, che aiutino a mantenere gli ecosistemi, che rafforzino la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici, alle condizioni meteorologiche estreme, alla siccità, alle inondazioni e ad altri disastri e che migliorino progressivamente la qualità dei terreni e dei suoli" e l'obiettivo 15.3 "Entro il 2030, combattere la desertificazione, ripristinare i terreni e i suoli degradati, compresi quelli colpiti da desertificazione, siccità e inondazioni, e sforzarsi di raggiungere un mondo neutrale dal punto di vista del degrado del suolo".

L'elevato interesse per il contenuto di SOC è dovuto al suo effetto sui tre aspetti che determinano la qualità e la fertilità del terreno. Da un punto di vista chimico, il SOC

contribuisce in modo significativo alla capacità di immagazzinare e fornire nutrienti, di tamponare variazioni di pH e adsorbire inquinanti o elementi tossici (Bartóg *et al.*, 2020); da un punto di vista biologico, è una fonte primaria di carbonio (C)/energia per i microrganismi del suolo e per l'intero biota del suolo, che sono attori chiave nelle funzionalità del suolo, mentre i suoli sono uno dei maggiori serbatoi di biodiversità (Martínez-García *et al.*, 2018); da un punto di vista fisico, contribuisce alla struttura del suolo e quindi a controllare in ultima analisi l'erosione del suolo, l'infiltrazione dell'acqua e la capacità di ritenzione idrica, offrendo un habitat migliore per le radici delle piante e gli organismi del suolo (Lal, 2020).

Con particolare riferimento agli effetti sulla fertilità fisica del terreno, l'aumento dello stock di SOC in suoli poveri può aumentare la capacità di ritenzione idrica con un incremento più elevato dell'umidità percentuale alla capacità di campo rispetto al valore del punto di appassimento, con un conseguente aumento dell'acqua disponibile per le colture (Lal, 2020). Stime presenti in letteratura indicano che il carbonio organico aggiunto al suolo ha una capacità di stoccaggio dell'acqua pari a 10 volte il suo peso (USDA-NRCS, 2015).

L'incorporazione nel terreno dei residui colturali, della biomassa delle cover crop (CC) e di matrici organiche (digestato, letame, compost) è considerata una strategia con un elevato potenziale di aumento del SOC in molti agroecosistemi (Costantini *et al.*, 2020). Ciononostante, vi è ancora una grande incertezza sull'efficacia di alcune pratiche

agronomiche a causa degli effetti altamente variabili in relazione alla modalità di adozione (Chenu *et al.*, 2019), nonché dell'accuratezza della scalabilità dei risultati dal microcosmo alla scala di appezzamento, di campo o addirittura di bacino (Dignac *et al.*, 2017). Inoltre, negli ultimi anni, le scarse precipitazioni e l'elevata variabilità meteorologica hanno accelerato le perdite di SOC (Pérez-Guzmán *et al.*, 2020) e aumentato la pressione sugli agricoltori per affrontare la sfida di aumentare lo stock di SOC in scenari di cambiamento climatico. Come evidenziato dal Focus Group EIP-AGRI "Soil Organic Matter in Mediterranean regions", è urgente aumentare il SOC nei suoli degradati (SOC < 1%) nel breve termine. Tuttavia, l'aumento dello stock di SOC è fortemente dipendente dall'arco temporale e dalle condizioni pedoclimatiche (Tadiello *et al.*, 2023) e non sempre viene osservato nel breve periodo in studi su larga scala, anche adottando pratiche di agricoltura conservativa (Camarotto *et al.*, 2020). Per questo motivo, è necessario sviluppare strategie agronomiche integrate che siano in grado di aumentare lo stock di SOC in tempi brevi e che siano allo stesso tempo facilmente adottabili dagli agricoltori, al fine di aumentarne l'efficacia e la scalabilità.

In considerazione di quanto sopra riportato, gli obiettivi del presente lavoro sono stati:

1. condurre una *on farm experimentation* per l'individuazione dei migliori itinerari tecnici (combinando la fertilizzazione organica con compost o digestato, l'impiego di colture di copertura e dell'irrigazione) per aumentare nel breve periodo la sostanza organica di terreni fortemente carenti;
2. stimare l'effetto dell'aumento del SOC nello strato lavorato (0-0,40 m) sul bilancio idrico a scala di distretto irriguo.

Materiali e Metodi

On farm experimentation

Il sito sperimentale è situato presso l'azienda dimostrativa "Podere Fiorentina" del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO), a San Donà di Piave (45°38'13.10" N, 12°35'55.00" E, 1 m s.l.m.). La sperimentazione è stata condotta da marzo 2019 a settembre 2022 su una superficie di 6,5 ha divisi in due corpi: uno irriguo e uno non irriguo. Il primo si estende circa 4,5 ha ed è drenato con tubazioni sottosuperficiali, il secondo, di circa 2 ha, presenta invece una sistemazione idraulica alla ferrarese. L'area rientra nella classe Cfa della classificazione di Köppen, con precipitazioni concentrate principalmente nei mesi primaverili e autunnali e frequenti temporali durante le estati caldo-umide. I dati climatici (1992-2022) mostrano una piovosità media annua di 966 mm e una temperatura media di 13,7 °C. Le principali caratteristiche fisico-chimiche del suolo per il profilo 0-0,40 m, all'inizio della sperimentazione, sono riportate in Tab. 1. Le proprietà idrologiche del suolo (0-0,40 m) erano simili in tutta l'area sperimentale, con una densità apparente media di 1,25 g cm⁻³, una capacità di

campo media del 27,7 % (v/v) e un punto di appassimento medio dell'8,5 % (v/v).

Tab.1 – Caratteristiche fisico-chimiche del profilo di suolo 0-0,40 m all'inizio della sperimentazione. (media ± SE)

Tab.1 – Average physical-chemical characteristics of the 0-0,40 m soil profile at the beginning of the experimental period. (average ± SE)

Variabili fisico-chimiche	Corpo	
	Irriguo	Non irriguo
Sabbia (%)	51,1 ± 1,0	47,6 ± 1,7
Limo (%)	25,6 ± 0,7	26,2 ± 0,6
Argilla (%)	23,3 ± 0,4	26,2 ± 1,1
Carbonio organico (%)	0,85 ± 0,01	1,13 ± 0,02
Azoto Kjeldahl (mg kg ⁻¹)	863,5 ± 15,0	1206,2 ± 25,2
Fosforo totale (mg kg ⁻¹)	574,3 ± 8,7	706,0 ± 10,4

Il layout sperimentale comprendeva dieci parcelle (da 0,3 a 0,9 ha), maggiori dettagli sono riportati in Fig. 1.



Fig. 1 – Mappa del "on farm experimentation".

Fig. 1 – Map of the "on farm experimentation".

La variabile CC è stata inserita nel terzo e quarto anno. Per i quattro anni di sperimentazione è stata adottata una successione biennale mais da granella – soia. Le lavorazioni del terreno sono consistite in un'aratura (~0,30 m di profondità), per l'incorporazione delle matrici organiche (insieme alla biomassa delle CC nel terzo e quarto anno), seguita da un'epicatura per la preparazione del letto di semina. Durante il ciclo delle colture da reddito, il controllo delle infestanti è stato eseguito chimicamente, utilizzando un trattamento di post-emergenza per il mais nel 2019 e la soia nel 2020, e un trattamento di pre-emergenza per il mais 2021 e la soia 2022.

Il contenuto medio di carbonio organico (Corg) nelle due matrici utilizzate e l'apporto cumulato al terreno durante la sperimentazione sono riportati in Tab. 2.

Il bilancio del carbonio organico è stato stimato per lo strato di suolo 0-0,40 m. La variazione dello stock è stata determinata come segue:

$$\text{Corg stock (Mg ha}^{-1}\text{)} = [\text{Corg nov22 (\%)} \times \text{BD (g cm}^{-3}\text{)} \times \text{prof (m)} \times 0,1] - [\text{Corg mar19 (\%)} \times \text{BD (g cm}^{-3}\text{)} \times \text{prof (m)} \times 0,1]$$

dove:

Corg nov22 e *Corg mar19* sono le percentuali di Corg determinate nei suoli campionati rispettivamente nel novembre 2022 e nel marzo 2019, *BD* è la densità apparente del suolo determinata secondo Rawls et al. (1992) e *prof* è lo strato di suolo monitorato (0,40 m).

Il Corg esogeno (da compost e digestato) è stato calcolato considerando la composizione delle matrici e la quantità fornita (Tab. 2). Il Corg endogeno derivante dai residui colturali è stato determinato sulla base: i) della biomassa secca aerea rimasta in campo al momento della raccolta, e ii) della biomassa radicale stimata pari a 1,1 volte e 0,2 volte la sostanza secca rispettivamente dei residui di mais (Dal Ferro et al., 2020) e soia (Nissen et al., 2008). Per entrambe le frazioni il contenuto di carbonio è stato stimato pari al 45 % della sostanza secca (Kätterer et al., 2011). La produzione in biomassa secca aerea delle CC è stata misurata al momento della terminazione e il suo contenuto di carbonio è stato determinato impiegando un *CNS analyzer* (elemental analyzer Vario Max, Elementar Americas, Inc., DE). Sulla base di un precedente esperimento (dati non mostrati), la produzione di biomassa radicale è stata stimata pari a 2,1 volte (triticale), 1,3 volte (loietto) e 1,1 volte (malerbe e senape) la biomassa secca aerea. Il contenuto di carbonio della biomassa sotterranea è stato stimato al 45 % della sostanza secca (Kätterer et al. 2011). L'efficacia della fissazione del Corg è stata calcolata come rapporto tra la variazione dello stock di SOC e l'apporto totale di Corg (C esogeno + C endogeno).

Tab. 2 – Contenuto in carbonio organico delle due matrici utilizzate e apporto cumulato nel periodo di sperimentazione.

Tab. 2 – Organic carbon content in the two used matrices and cumulative input during the experimental period.

Matrice organica	Carbonio organico (%)	Carbonio organico applicato 2019-2022 (Mg ha ⁻¹ anno ⁻¹)
Compost	26,8	19,6
Digestato	53,0	20,8

Bilancio idrico del distretto Brian e up-scaling dei risultati

I risultati del miglior trattamento in termini di aumento di SOC, osservati con la sperimentazione in campo, sono stati utilizzati per stimare il loro potenziale effetto sul bilancio idrico del distretto irriguo Brian durante la stagione irrigua (aprile-settembre). Nello specifico, l'effetto è stato calcolato ipotizzando lo stesso incremento di SOC sulla superficie del distretto Brian coltivata con colture erbacee di pieno campo (21.147 ha) e considerando una capacità di stoccaggio d'acqua del carbonio organico pari a 10 volte il suo peso (USDA-NRCS, 2015).

Il distretto Brian, localizzato tra i fiumi Piave e Livenza, è uno dei sette sistemi idraulici del comprensorio del CBVO, nel Nord Est italiano, in Regione Veneto. Questo afferrisce alla Litoranea Veneta e comprende dieci bacini idraulici: Piavon, Magnadola, Caseratta, Bella Madonna, Cirgogno, Ongaro Superiore, Ongaro Inferiore I, Ongaro Inferiore II,

Ongaro Inferiore III e Assicurazioni Generali, per una superficie complessiva di 36.219 ha.

Il distretto è caratterizzato da altimetria prevalentemente inferiore al livello del medio mare e da un lungo canale centrale a scolo naturale denominato Brian. Pertanto, insistono numerose idrovore per il deflusso delle acque superficiali, due delle quali aventi recapito nella Litoranea Veneta e quindi a mare, mentre le restanti scaricano nel canale Brian. Durante la stagione irrigua, il canale Brian viene sostenuto alla foce fino a un livello di +1 m sul medio mare, facendo da invaso per la rete irrigua del distretto, alimentata attraverso una derivazione irrigua dal fiume Livenza posta circa 40 km a monte del sostegno.

Il bilancio del distretto Brian è stato calcolato per il quinquennio 2018-2022 applicando la seguente formula:

$$\Delta S = (I + P + D) - (S + ET + Inef)$$

dove:

1. ΔS è la differenza tra gli input e gli output di acqua nel distretto Brian (variazione dell'accumulo idrico dell'area di studio);
2. gli input sono: l'acqua derivata dal CBVO da fonti esterne al distretto irriguo (I); le precipitazioni, stimate moltiplicando il valore medio di precipitazione misurato durante la stagione irrigua dalle due stazioni meteorologiche della rete ARPAV site nel distretto (Noventa di Piave ed Eraclea) per la superficie del distretto Brian (36.219 ha) (P); le acque reflue immesse dai depuratori che scaricano nel Canale Brian, stimate sulla base delle concessioni date in fase di autorizzazione allo scarico (D);
3. gli output sono: lo scarico delle due idrovore con scarico sulla Litoranea Veneta (Valle Tagli e Torre di Fine), calcolato come secondi di funzionamento totale durante la stagione irrigua per la portata in m³ s⁻¹ (S); l'evapotraspirazione della superficie agricola dell'area di studio (27.857 ha), calcolata secondo il metodo adottato dal sistema SIGRIAN (Sistema Informativo Nazionale per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura) (ET); le inefficienze legate al Canale Brian, calcolate in funzione della tipologia di canale e quantificate pari al 40 % (Inef).

Risultati e Discussione

On farm experimentation

L'apporto cumulativo di Corg era significativamente diverso tra le dieci gestioni agronomiche confrontate (Tab. 3). Dopo quattro anni, l'aumento dello stock di SOC è variato da -1,2 Mg ha⁻¹ (NoCC:D:R) a +10,3 Mg ha⁻¹ (CC-S:C:I), corrispondenti ad una fissazione del Corg apportato variabile dal -2,9 % al +27,8 %.

Tab.3 - Variazione dello stock di SOC nelle differenti gestioni agronomiche.

Tab.3 - Changes in SOC stock under different agronomic management.

Trattamento	Carbonio esogeno (Mg ha ⁻¹)	Carbonio Endogeno (Mg ha ⁻¹)		ΔSOC stock (0-40 cm) (Mg ha ⁻¹)
		Residui colturali	Cover crop	
	2019-2022	2019-2022	2021-2022	2019-2022
CC-F:D:I	21,5	17,4	2,5	5,7
CC-F:C:I	19,7	15,0	2,1	9,3
NoCC:D:I	20,4	19,2	1,4	4,7
NoCC:C:I	18,8	14,9	0,2	9,4
CC-S:C:I	20,9	16,8	1,3	10,3
CC-S:D:I	20,2	18,5	1,6	3,5
NoCC:D:R	19,3	23,8	1,4	-1,2
NoCC:C:R	18,4	16,4	1,6	7,3
CC-F:C:R	19,3	14,3	2,9	2,8
CC-F:D:R	23,0	19,0	4,3	7,0

CC-F = cover crop fissa; CC-S = successione di cover crop; NoCC = no cover crop; D = digestato; C = compost; I = micro-irrigazione; R = no irrigazione.

Bilancio idrico del distretto Brian

Gli input idrici nel distretto Brian nel periodo aprile-settembre sono variati dai 237.157.044 m³ (2022) ai 359.139.697 m³ (2019), con un effetto principalmente dovuto alla piovosità del periodo (Tab. 4). Gli output, invece, nel quinquennio considerato sono variati da 141.765.462 m³ (2022) a 196.235.056 m³ (2019) (Tab. 5). In tutti e cinque gli anni considerati, il bilancio è stato sempre positivo (Tab. 6). Ciò è da ricondurre ad output di acqua dal distretto non considerati nel presente bilancio quali le perdite per evapotraspirazione da aree non agricole (verde urbano, parchi, ecc...) e le inefficienze (evaporazione e infiltrazione) dei canali secondari (circa 500 km) di scolo e delle canalette ad alveo disperdente utilizzate per la distribuzione della risorsa irrigua.

Tab.4 - Input idrici nel distretto Brian durante le stagioni irrigue del periodo 2018-2022.

Tab.4 - Water input in the Brian district during the irrigation seasons of the period 2018-2022.

Anno	Input (m ³)		
	Precipitazioni	Derivazioni	Acque reflue
2018	174.430.704	86.515.106	12.666.840
2019	247.665.522	98.807.334	12.666.840
2020	207.389.994	84.485.250	12.666.840
2021	157.878.621	100.403.220	12.666.840
2022	114.741.792	109.748.412	12.666.840

Tab.5 - Output idrici del distretto Brian durante le stagioni irrigue del periodo 2018-2022.

Tab.5 - Water output of the Brian district during the irrigation seasons of the period 2018-2022.

Anno	Output (m ³)		
	Evapotraspirazione	Scarico idrovore	Inefficienze BRIAN
2018	54.184.154	63.644.607	39.672.778
2019	54.521.156	97.124.231	44.589.669
2020	50.068.063	71.263.991	38.860.836
2021	55.074.869	69.602.988	45.228.024
2022	52.429.305	40.369.056	48.966.100

Tab.6 - Bilancio del distretto Brian per le stagioni irrigue del periodo 2018-2022.

Tab.6 - Brian district water balance for the irrigation seasons of the period 2018-2022.

Anno	Bilancio (m ³)		
	Input	Output	ΔS
2018	273.612.650	157.501.539	116.111.111
2019	359.139.697	196.235.056	162.904.640
2020	304.542.084	160.192.890	144.349.195
2021	270.948.681	169.905.881	101.042.800
2022	237.157.044	141.764.462	95.392.582

Up-scaling dei risultati

Sulla base della migliore strategia agronomica osservata nella prova di campo, si può stimare che nel Distretto irriguo Brian, l'applicazione di questa gestione (e di conseguenza l'incremento in Corg osservato) sulla superficie con colture erbacee di pieno campo (21.147 ha) ridurrebbe i deflussi durante la stagione irrigua (aprile-settembre) di circa 2,2 milioni di m³, pari ad una riduzione dell'acqua allontanata dal distretto tramite le idrovore variabile dal 2.2 % (2019, anno più piovoso) al 5.4 % (2022, anno meno piovoso).

Sulla base della capacità di ritenzione idrica per ettaro, il volume di acqua trattenuto dall'incremento di Corg rappresenta mediamente dal 6,4 % al 12,9 % del volume irriguo impiegato per mais e soia nel quinquennio 2018-2022.

Conclusioni

Sebbene i risultati ottenuti necessitano ulteriori approfondimenti per affinare le stime degli input e degli output idrici, suggeriscono come un incremento del carbonio organico dei terreni agricoli possa, anche nel breve termine, avere un effetto non trascurabile sul bilancio idrico a scala di distretto.

Bibliografía

- Lal R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123: 1–22.
- Lal R., 2020. Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112: 3265-3277.
- Soussana J.F., Lutfalla S., Ehrhardt F., Rosenstock T., Lamanna C., Havlík P., Richards M., Wollenberg E.L., Chotte J.L., Torquebiau E., Ciais P., Smith P., Lal R., 2019. Matching policy and science: Rationale for the “4 per 1000 - soils for food security and climate” initiative. *Soil and Tillage Research*, 188: 3–15.
- Martínez-García L.B., Korthals G., Brussaard L., Jørgensen H.B., De Deyn G.B., 2018. Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 263: 7-17.
- Chenu C., Angers D.A., Barré P., Derrien D., Arrouays D., Balesdent J., 2019. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 188: 41-52.
- Dignac M.F., Derrien D., Barré P., Barot S., Cécillon L., Chenu C., Chevallier T., Freschet G.T., Garnier P., Guenet B., Hedde M., Klumpp K., Lashermes G., Maron P.A., Nunan N., Roumet C., Basile-Doelsch I., 2017. Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37: 1-27.
- Costantini E.A.C., Antichi D., Almagro M., Hedlund K., Sarno G., Virto I., 2020. Local adaptation strategies to increase or maintain soil organic carbon content under arable farming in Europe: Inspirational ideas for setting operational groups within the European innovation partnership. *Journal of Rural Studies*, 79: 102-115.
- Pérez-Guzmán L., Acosta-Martínez V., Phillips L.A., Maugé S.A., 2020. Resilience of the microbial communities of semiarid agricultural soils during natural climatic variability events. *Applied Soil Ecology*, 149: 103487.
- Barlóg P., Hlisnikovský L., Kunzová E., 2020. Effect of digestate on soil organic carbon and plant-available nutrient content compared to cattle slurry and mineral fertilization. *Agronomy*, 10(3): 379.
- Zdruli P., Jones R.J.A., Montanarella L., 2004. Organic Matter in the Soils of Southern Europe. European Soil Bureau Technical Report, EUR 21083 EN, 16pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Camarotto C., Piccoli I., Dal Ferro N., Polese R., Chiarini F., Furlan L., Morari F., 2020. Have we reached the turning point? Looking for evidence of SOC increase under conservation agriculture and cover crop practices. *European Journal of Soil Science*, 71: 1050-1063.
- Tadiello T., Acutis M., Perego A., Schillaci C., Valkama E., 2023. Soil organic carbon under conservation agriculture in Mediterranean and humid subtropical climates: Global meta-analysis. *European Journal of Soil Science*, 74: e13338.
- USDA-NRCS (2015). <https://www.nrdc.org/bio/lara-bryant/organic-matter-can-improve-your-soils-water-holding-capacity>

PREDICTIVE BIOCLIMATIC MODEL FOR ITALIAN HONEY PRODUCTION WITH TREE-BASED METHODS

MODELLO PREDITTIVO BIOCLIMATICO PER LA PRODUZIONE DI MIELE IN ITALIA CON METODI AD ALBERO

Alesio Brini¹, Matteo Fantoni², Elisa Giovannini^{2*}, Elia Smaniotto²

¹ Duke University Pratt School of Engineering, 305 Teer Engineering Building Box 90271, Durham, NC27708 (USA)

² Dipartimento di Scienze per l'Economia e l'Impresa, Università degli Studi di Firenze, Via delle Pandette 9, 50127, Firenze FI (Italy)

* elisa.giovannini@unifi.it

Abstract

The beekeeping sector has undergone considerable production variations over the past years due to adverse weather conditions, occurring more frequently as climate change progresses. We disentangle honey production drivers with machine learning methods and predict honey production variations for beehives in Italy. The analyzed dataset covers hundreds of hive data from 2019-2022 gathered with precision beekeeping techniques. These data have been resampled and merged with weather reanalysis data to capture the effect of weather variables on honey production. The trained models outperform standard linear techniques and, although complex, still have a high level of interpretability. This critical aspect comes into hand when the model-generated insights are used to build parametric insurance products to protect beekeepers from massive losses. The models become prescriptive, other than predictive, allowing to increase the production system's efficiency and effectiveness and decrease the risks.

Parole chiave

Machine Learning, Miele, Modello Predittivo, Meteo.

Keywords

Machine Learning, Honey, Predictive Model, Weather.

PREDIZIONE DELLA SICITÀ IN ITALIA MERIDIONALE SULLA BASE DI OSSERVAZIONI ENSO

DROUGHT PREDICTION IN SOUTHERN ITALY BY MEANS OF ENSO OBSERVATIONS

Marco Arcieri

¹ Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, Viale Lincoln – Ex Area Saint Gobain, 81100 Caserta (CE).

* m.arcieri@distrettoappenninomeridionale.it

Abstract

Rainfall variability is a distinguished characteristic of Mediterranean climate: unpredictability is common over the southern to central regions, as precipitation regime is often erratic and not easily foreseeable. Moreover, the frequency of extreme drought events has significantly increased over Europe since the late seventies, with severity expected to be further exacerbating as a result of climate change. Southern Italy has been facing severe drought periods in the last 50 years, greatly affecting the agricultural, public and industry sectors. Having the possibility to predict significant reductions of rainfall is thus crucial, in order to achieve the sustainable management of water resources and develop adequate preparedness and mitigation strategies. With this purpose, a research study has been conducted trying on the one hand to investigate the eventual relations existing between ENSO (El Niño Southern Oscillation) events and rainfall; on the other hand, to carry out a general study of the phenomenon, in order to attempt to develop a methodology for drought prediction. The study has been conducted in Basilicata region (Southern Italy), considering daily precipitation data extracted by 7 gauging stations belonging to five different river basins, covering the period between January 1st 1951 and December 31st of 2021. Yearly cumulated rainfall has been compared to cumulated Oceanic Niño Index (ONI) values and Southern Oscillation Index (SOI) data. Results, validated by means of ANOVA statistical analysis, show that there is a positive influence of the warm phase of ENSO (El Niño) on rainfall, as well as of the cold phase (La Niña) on reduction of precipitation. Conclusions point out that the approach used in this study has proven to be reliable in time and space; nevertheless, drought prediction always requires caution. Further research is thus needed to improve the development of early warning systems, eventually based also on other atmospheric factors.

Parole chiave italiano:

Times New Roman 10 – EL NIÑO, SICITÀ, TELECONNESSIONI.

Keywords english

Times New Roman 10 - EL NIÑO, DROUGHT, TELECONNECTIONS.

Introduzione

La siccità è una caratteristica normale e ricorrente del clima, erroneamente considerata un evento raro e casuale, che si verifica in diverse zone del mondo. È principalmente causata da una carenza di precipitazioni in un dato periodo di tempo: scale temporali brevi (mesi) caratterizzano la siccità meteorologica, mentre le scale temporali basate su più anni indicano una siccità idrologica. Differisce però dall'aridità, che è limitata alle regioni con scarse precipitazioni ed è una caratteristica permanente del clima. Nell'area del Mediterraneo, gli effetti della siccità sono molto più importanti dal punto di vista economico e sociale, poiché la produzione agricola e la disponibilità di risorse idriche per l'industria e le famiglie sono i settori più colpiti. I dati attuali prevedono scenari di aumento del riscaldamento globale alquanto preoccupanti, per cui è molto probabile che eventi siccitosi si verifichino più frequentemente, durino più a lungo e diventino più intensi. Per questo motivo, essere in grado di prevedere con buona attendibilità l'inizio, la durata e la cessazione delle condizioni di siccità potrebbe consentire lo sviluppo di strategie di mitigazione più efficaci. Una valutazione

approfondita del fenomeno e la possibilità di prevedere futuri eventi di siccità sono quindi essenziali, al fine di sviluppare soluzioni adeguate ad una gestione sostenibile delle risorse idriche e una valutazione completa del rischio. Tuttavia, questo rimane un compito complesso, a causa del carattere erratico delle precipitazioni, che è la variabile di base comunemente usata per la valutazione della siccità. Diversi autori hanno proposto diversi metodi per monitorare efficacemente la siccità, come la Decile Methodology (Gibbs et al., 1967), il Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Alley, 1984), o lo Standardized Precipitation Index (SPI) (Guttman, 1998), solo per citare alcuni dei più popolari. Tuttavia, diversi lavori indicano una maggiore affidabilità delle metodologie SPI e Deciles rispetto al PDSI (Keyantash and Dracup, 2002). L'SPI, in particolare, ha raggiunto un'ampia applicazione per descrivere e confrontare periodi di siccità tra diversi periodi di tempo e regioni e con diverse condizioni climatiche (Cancelliere et al, 2006). Infatti, la maggior parte degli studi svolti nel recente passato si sono basati sullo SPI, definito come un indicatore chiave per il monitoraggio della siccità anche dalla World Meteorological Organization. È

stato ampiamente applicato come strumento operativo e di analisi (Wilhite, 2000; Svoboda, 2002; Quiring, 2009). Ad esempio, Lloyd-Hughes and Saunders (2002) hanno utilizzato l'SPI per sviluppare una climatologia della siccità per l'Europa, mentre alcuni autori (Santos et al., 2010) hanno esaminato sia la variabilità temporale che spaziale della siccità in Portogallo utilizzando il SPI; mentre altri (Hannaford et al., 2011) hanno utilizzato un SPI aggregato a livello regionale, tra gli altri indicatori, per analizzare i modelli di coerenza spaziale della siccità in Europa.

Un nuovo approccio è stato introdotto da due ricercatori (Ropelewski and Halpert, 1989), che per la prima volta hanno prodotto un'analisi che descrive gli spostamenti regionali della distribuzione delle precipitazioni e della temperatura su scala globale, durante le fasi di El Niño Southern Oscillation (ENSO). La ricerca svolta da Ropelewski and Halpert ha sostanzialmente fornito una metodologia coerente per la definizione delle regioni geografiche e caratterizzare la fase temporale delle precipitazioni in funzione dell'ENSO e della temperatura (Ropelewski and Halpert, 1986). Questa ricerca ha anche permesso di osservare, ad esempio, che quando l'indice ENSO è positivo (indicando condizioni di El Niño ed acque più fredde sull'Oceano Pacifico equatoriale occidentale), il verificarsi della siccità nell'Australia settentrionale ed orientale è altamente probabile. I due autori hanno anche esaminato il legame tra eventi ENSO e modelli di precipitazioni regionali in altre parti del mondo (Ropelewski and Halpert, 1987): l'area compresa tra l'America Latina nord-orientale, dal Brasile fino al Venezuela, ha mostrato una delle relazioni più forti, analogamente a quella che comprende l'America centrale e le isole dei Caraibi. Ma anche altre aree prese in considerazione nei loro studi, quali l'Indonesia, le Fiji, la Micronesia e le Hawaii nel bacino del Pacifico occidentale hanno mostrato una forte tendenza alla riduzione delle precipitazioni durante la fase calda di ENSO, andando generalmente soggette a siccità durante tale evento. Infine, anche i territori dell'Africa orientale e meridionale hanno mostrato una forte correlazione tra gli eventi ENSO e la mancanza di precipitazioni, in grado di innescare condizioni di estrema siccità nella regione del Corno d'Africa e nelle aree a sud di essa. Per quanto attiene invece all'Europa ed al bacino del Mediterraneo, sempre nello stesso lavoro (Ropelewski and Halpert, 1987), i due autori hanno osservato alcune anomalie nelle precipitazioni che si verificavano nelle regioni dell'Europa meridionale e del Medio Oriente mediterraneo, ma hanno concluso che l'influenza di ENSO in queste regioni era incerta. Quindi, secondo quanto fin qui citato, gli eventi ENSO sembrerebbero avere un'influenza maggiore sulle regioni situate a latitudini più basse, soprattutto nel Pacifico equatoriale e nelle aree tropicali limitrofe. In effetti, le relazioni alle medie latitudini non sono state finora studiate in modo molto esaustivo, poiché non sembrano essere così pronunciate né sembrano essere evidenti le modalità con cui El Niño influenza i modelli di clima umido o secco. L'intensità delle anomalie in queste regioni, secondo la

precedente bibliografia, sembra anche essere più inconsistente rispetto a quelle verificatesi alle latitudini inferiori. D'altra parte, va comunque detto che una serie di altri lavori scientifici ha indicato che una serie di anomalie delle precipitazioni correlate all'ENSO sono state riscontrate su scala nazionale nelle regioni del Mediterraneo e del Medio Oriente, in diversi periodi dell'anno (Rodò et al., 1997; Price et al., 1998; Turkes, 1998; Arpe et al., 2000; Nazemosadat and Cordery, 2000). Ed è stato a lungo oggetto di dibattito se e come gli estremi caldi e freddi dell'oscillazione meridionale di El Niño (ENSO) influenzino le precipitazioni euro-mediterranee (Mariotti and Lau, 2002). È possibile dire, quindi, che la quantificazione degli impatti geofisici specifici della fase ENSO in diverse aree del pianeta ha senz'altro consentito previsioni climatiche più accurate, con tempi di *preparedness* più lunghi e adattamenti più precisi per una data area geografica. Purtroppo, vale davvero la pena e senza dubbio potrebbe rivelarsi essere molto interessante indagare più specificatamente se nell'area mediterranea sia possibile individuare relazioni significative in tal senso. E, nel caso, se l'influenza di ENSO sul clima e sull'andamento delle precipitazioni manifesti i suoi effetti sul clima come avviene alle latitudini più basse o, al contrario, attraverso un diverso comportamento. Pertanto, questo studio si propone di migliorare la conoscenza delle relazioni eventualmente esistenti tra ENSO e la variabilità annuale delle precipitazioni in un'area tipica del mediterraneo, considerando la possibilità di prevedere eventi di siccità e la relativa quantità di precipitazioni. L'obiettivo finale è la messa a punto di un sistema di previsione della siccità affidabile e facile da gestire, come strumento essenziale per sviluppare efficaci strategie di mitigazione, possibilmente in grado di fornire indicazioni sulla durata delle condizioni di siccità, consentendo in tal senso una migliore pianificazione delle risorse idriche.

Materiali e Metodi

Lo studio è stato condotto in Basilicata, una regione di circa 10.000 km² situata al centro dell'Appennino meridionale. Le caratteristiche dell'area sono simili a quelle di molte altre zone mediterranee, con un clima che varia a seconda della latitudine e dell'altitudine: nei territori dell'Appennino sud-occidentale affacciati sul Mar Tirreno si registrano in media precipitazioni massime annue oscillanti tra i 1.500 mm ed i 2.000 mm, mentre i bacini idrografici dei fiumi orientati verso la costa ionica sud-orientale raggiungono livelli non superiori a 600 mm annui (Figura 1).



Fig.1 – Area oggetto di studio (Basilicata) in Italia Meridionale.

Fig.1 - Location of the study area (Basilicata region) in Southern Italy.

In questa particolare area i valori medi annui di temperatura minima e massima sono rispettivamente di 10,2 °C e 21,4 °C a gennaio e luglio; il mese più freddo è gennaio, con un valore medio minimo di 3,1 °C, mentre i valori medi più elevati delle temperature massime (31,5 °C) si osservano a luglio. La domanda evaporativa è bassa durante i mesi invernali, essendo i valori cumulati di gennaio mediamente pari a 43 mm; nella stagione estiva, invece, si raggiunge un valore medio cumulato di 262 mm nel corso del mese di luglio (Leogrande et al., 2007). L'analisi dell'andamento delle precipitazioni è stata effettuata utilizzando dati di pioggia giornaliera provenienti da 7 stazioni di misurazione, utilizzando serie storiche comprese tra il 1° gennaio 1951 ed il 31 dicembre 2021; i dati sono stati ottenuti dall'Archivio della Protezione Civile della Regione Basilicata. Ai fini dell'affidabilità dello studio è stata effettuata un'attenta revisione delle stazioni disponibili: l'intervallo temporale di copertura e la continuità delle serie per ciascuna stazione sono state le caratteristiche principali prese in considerazione; si è pertanto deciso di evitare la scelta di stazioni pluviometriche caratterizzate da dati mancanti. Inoltre, le stazioni sono state scelte in funzione dell'appartenenza ai vari bacini idrografici, nonché in ragione della loro prossimità ai principali invasi della regione (Tabella 1).

Tab.1 – Caratteristiche delle stazioni pluviometriche.

Tab.1 – Gauging stations characteristics.

Nome	Bacino	Latitudine	Longitudine	Altitudine (m.a.s.l.)
Noepoli	Sinni	40° 05' 35"	16° 21' 24"	676,0
Stigliano	Agri	40° 24' 30"	16° 13' 33"	800,0
S. Mauro Forte	Cavone	40° 29' 00"	16° 16' 24"	565,0
Albano di L.	Basento	40° 35' 54"	16° 02' 07"	824,0
Montescaglioso	Bradano	40° 33' 31"	16° 42' 05"	63,0
Irsina	Bradano	40° 44' 52"	16° 15' 38"	533,0
Palazzo S.G.	Bradano	40° 56' 00"	16° 00' 24"	483,0

I dati di pioggia sono stati messi in correlazione con i valori di ONI (Oceanic El Niño Index), che caratterizzano i diversi stati di El Niño. I relativi dati sono stati forniti dalla NOAA–National Oceanic and Atmospheric Administration, del Dipartimento del Commercio degli Stati Uniti. Pertanto, i valori degli indici ONI relativi al periodo 1951–2021 sono stati confrontati con i dati di precipitazione mensili relativi allo stesso periodo e sottoposti ad analisi statistica.

Risultati e Discussione

Al fine di trovare una correlazione significativa tra gli eventi ENSO e le piogge, i valori annui cumulati dell'indice ONI sono stati correlati ai dati corrispondenti delle precipitazioni annuali (Figura 2), così come registrati dal 1951 al 2021.

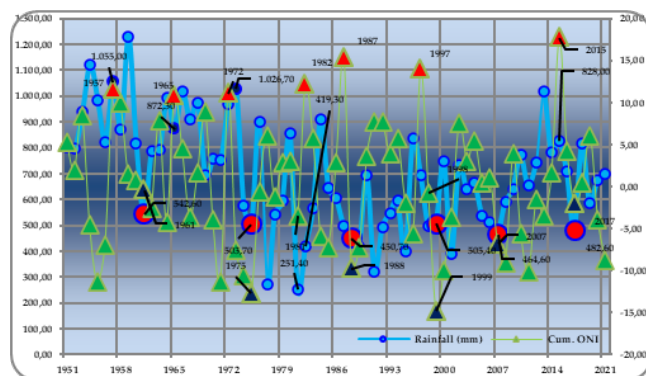


Fig.2 - Andamento del valore di ONI cumulato annuo rispetto alle precipitazioni cumulate annue per il periodo 1951-2021 – Stazione di Noepoli.

Fig.2- Trend of annual cumulated ONI value against annual cumulated rainfall for the period 1951-2021 – Noepoli station.

Come evidenziato dal grafico, il trend relativo ai picchi positivi dei valori ONI (fase calda di ENSO) nel tempo risulta in aumento, indicando il riscaldamento dell'Oceano Pacifico. Valori elevati di El Niño sono stati registrati negli anni 1957, 1965, 1972, 1982, 1987, 1997, 2002 e nel 2015, quando è stato registrato il più forte episodio di El Niño mai censito. Il dato conferma anche che nel corso di eventi di El Niño, negli anni caratterizzati dai valori più alti di ONI sono stati registrati anche i valori più alti di precipitazioni annuali, come occorso negli anni 1953, 1957, 1965 e 1966, 1972 e 2015. D'altro canto, il grafico evidenzia molto chiaramente, anche, che gli anni caratterizzati da significative deviazioni negative dalla media delle precipitazioni, pari a 701 mm per Noepoli, sembrano coincidere con gli anni tipici degli eventi di La Niña storicamente registrati. È il caso, in particolare, di annate particolarmente siccitose quali quelle del 1974-75, 1988-89, 1998-99, 2007 e 2017. Questi risultati sembrano essere confermati dall'esame delle risorse idriche accumulate all'interno dell'invaso di Monte Cotugno, situato nei pressi della stazione di Noepoli, e dalla sua evoluzione nel tempo; i dati si riferiscono al periodo compreso tra il 1997 ed il 2021 e sono stati forniti dall'Autorità di Bacino (Figura 3). È molto evidente come la disponibilità di acqua immagazzinata all'interno dell'invaso sia andata sensibilmente diminuendo a partire dall'anno 1998, diminuendo drasticamente negli anni successivi, fino al 2001 e al 2002. Un'altra significativa crisi idrica si è verificata successivamente, negli anni 2007 e 2008, così come anche durante l'anno 2017. Appare dunque interessante osservare come queste grandi crisi si siano verificate negli anni successivi agli episodi di El Niño del 1997, 2006 e 2015, cioè a partire dalla fase fredda di La Niña di ENSO, occorsa negli anni 1998-99, 2007 e 2017.

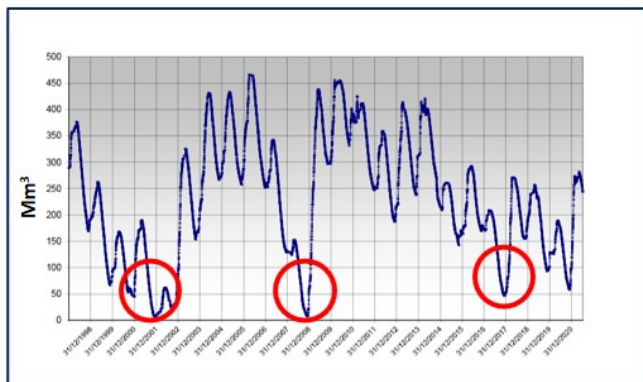


Fig.3 - Andamento della disponibilità annua di risorsa idrica accumulata nell'invaso di Monte Cotugno.

Fig.3- Trend of annual cumulated water resources in the Monte Cotugno reservoir.

Conclusioni

Negli ultimi decenni, diversi scienziati hanno riconosciuto come El Niño sia in grado di apportare cambiamenti significativi ai modelli meteorologici globali. Pertanto, l'utilità dei risultati riportati in questo lavoro, basati sull'osservazione di ENSO e della sua influenza sull'andamento delle precipitazioni in una tipica regione a clima mediterraneo del Sud Italia, potrebbe aprire la strada ad un nuovo approccio nella preparazione e nella gestione di eventi climatici estremi, in particolare modo della siccità. Il vantaggio di avere un sistema di "alert" facile da gestire, a queste latitudini e in questa parte del mondo potrebbe rivelarsi considerevole, soprattutto se paragonato ad altre aree del mondo quali Indonesia, Filippine e Australia. In quella parte del Pacifico, come è noto, quando la fase calda dell'ENSO comincia ad insediarsi al largo delle coste dell'Ecuador e del Perù, questi Paesi sono esposti al rischio di drammatici episodi di siccità, a seconda della forza e dell'intensità della fase calda. Il lasso di tempo necessario per predisporre e sviluppare adeguate strategie di gestione e mitigazione è dunque molto breve; mentre in Europa e nell'area mediterranea, soprattutto quando El Niño è molto forte, l'intervallo di tempo eventualmente necessario prima che gli eventi meteorologici autunnali, invernali e primaverili inizino a risentire significativamente in modo negativo è molto più ampio, in quanto è durante la fase La Niña, che di solito si verifica nell'anno successivo a El Niño, che si verificano notevoli riduzioni delle precipitazioni. Non è quindi eccessivo affermare che attraverso un tale sistema di "early warning", per così dire, potrebbe essere possibile pianificare e gestire le risorse idriche con un anno di anticipo almeno, fungendo di fatto da Sistema di Supporto alle Decisioni. Ciò è particolarmente vero a livello di governance, quando i decisori devono affrontare questioni di gestione sostenibile delle risorse idriche come quelle relative ai bacini transfrontalieri e/o all'interno della stessa regione, tra diversi utenti. Oppure, se si vuole garantire l'approvvigionamento idrico agli utenti finali, come nel caso di aziende agricole servite da consorzi di bonifica e irrigazione. Pertanto, in funzione della quantità di acqua immagazzinata negli invasi l'anno prima che La Niña si verifichi, sarà possibile consigliare ai coltivatori di orientarsi verso colture erbacee e/o orticole che richiedono poca acqua. Oppure, in caso di disponibilità molto bassa della risorsa, si potrebbe consigliare loro di non coltivare alcuna coltura da reddito, in quanto l'unica acqua erogata dovrà necessariamente essere resa disponibile per le colture da reddito e quelle di alberi da frutto, poiché queste ultime sono permanenti e non possono essere perse, essendo generalmente molto più onerose in termini di investimenti finanziari e costi energetici richiesti.

References/Bibliografia

- Alley W.M., 1984. The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, pag. 1100–pag 1109.
- Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G.S., Mokhov I.I., Semenov V.A., Sporyshev P., 2000. Connection between Caspian Sea Level variability and ENSO. *Geophysical Research Letters*, 27(17), pag. 2693–pag. 2696.
- Cancelliere A., Di Mauro G., Bonaccorso B., Ross, G., 2006. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Water Resources Management*, 21(5), pag. 801–pag. 819.
- Gibbs W.J., Maher J.V., 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin N. 48*, Melbourne, Australia.
- Guttman N.B., 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34, pag. 113– pag. 121.
- Hannaford J., Lloyd-Hughes B., Keef C., Parry S. and Prudhomme C., 2011. Examining the large-scale spatial coherence of European drought using regional indicators of precipitation and streamflow deficit. *Hydrol. Process.*, 25, pag. 1146– pag. 1162.
- Keyantash J, and Dracup J.A, 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bull Amer. Meteor. Soc.* 83(8), pag. 1167– pag. 1180.
- Lloyd-Hughes B. and Saunders M. A., 2002. A drought climatology for Europe, *Int. J. Climatol.*, 22, pag. 1571– pag. 1592.
- Mariotti A., Zeng N., and Lau, K.M., 2002. Euro-Mediterranean rainfall and ENSO - a seasonally varying relationship. *Geophys. Res. Lett.*, 29 (12).
- Nazemosadat M., and Cordery I., 2000. On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran. *Int. J. Climatol.*, 20, pag. 47- pag. 61.
- Price C., Stone L., Huppert A., Rajagopalan B., and Alpert P. 1998. A possible link between El Nino and precipitation in Israel. *Geophys. Res. Lett.*, 25, pag. 3963–pag. 3966.
- Rodò, X., E. Baert, and F. A. Comin, 1997. Variations in seasonal rainfall in southern Europe during the present century: Relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño –Southern Oscillation, *Clim. Dyn.*, 13, pag. 275– pag. 284.
- Ropelewski C.F. and Halpert M.S., 1986. North American precipitation and temperature patterns associated with the El Niño /Southern Oscillation (ENSO). *Mon. Weather Rev.*, 114, pag. 2352– pag. 2362.
- Ropelewski C.F. and Halpert M.S., 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.*, 115, pag.1606– pag.1626.
- Ropelewski C. F. and Halpert M.S., 1989. Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. *Journal of climate*, 2(3), pag. 268– pag. 284.
- Quiring S.M., 2009. Developing objective operational definitions for monitoring drought. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 48, pag. 1217–pag. 1229.
- Svoboda M., 2002. The drought monitor. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 83, pag 1181–pag 1190.
- Turkes M., 1998. Influence of geopotential heights, cyclone frequency and the Southern Oscillation on rainfall variations in Turkey. *Int. J. Climat.*, 18, pag. 649–pag 680.
- Wilhite D.A., 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. In *Drought: a global assessment*. (D. Wilhite ed.). Vol 1, pag. 3–pag 18.

PREVEDERE, A SCALA STAGIONALE, L'INNESCO E LA PERSISTENZA DI EVENTI ESTREMI DI SICCAITA': IL CASO STUDIO DEL BACINO IDROGRAFICO DEL PO

PREDICTING, ON A SEASONAL SCALE, THE TRIGGERING AND PERSISTENCE OF EXTREME DROUGHT EVENTS: THE CASE STUDY OF THE PO RIVER BASIN

Arianna Di Paola¹, Valentina Pavan², Ramona Magno³, Edmondo Di Giuseppe, Sara Quaresima¹, Leandro Rocchi³ and Massimiliano Pasqui^{1*}

¹ National Research Council of Italy, Institute for BioEconomy, Rome, Italy

² Agenzia Prevenzione Ambientale Energia Emilia-Romagna, Servizio Idrometeorologia - Unità climatologia e previsioni di lungo termine, Bologna, Italy

³ National Research Council of Italy, Institute for BioEconomy, Florence, Italy

* Corresponding author: massimiliano.pasqui@ibe.cnr.it

Abstract

In the last 15 years, the northern regions of Italy have experienced some prolonged periods of intense drought. In this context, drought forecasting can be an effective tool for optimizing water resources and activating appropriate adaptation actions. However, the seasonal forecasts for the anticipation of possible drought conditions are challenging, due, in general, to the limited predictive ability of seasonal predictions over the Euro-Mediterranean region and, in particular, to the limited ability of dynamical models in predicting blocking onset and frequency at all forecast timescales, being these the large scale dynamical features leading to the occurrence of local droughts.

For this reason, the identification of the best timeframes and related drought forecasting opportunities can be an innovative and effective approach for the drought risk manager, especially in the agronomic field.

The present work explores potential relationship between the SPI (Standardized Precipitation Index) calculated over multiple time frames (from 1 to 36 months) with an equivalent river discharge indicator, SQI (Standardized Discharge River Index) for the Po river basin from 1961 to 2022. Specifically, pairwise correlations between SPI and SQI of different time frames are explored, with SPI from zero to 4 months ahead of the SQI reference month. The results show significant correlations between SPI and SQI of equivalent time frames, with advances of 1 and 2 months. The explorative approach shown here provides insight into the many forecasting opportunities that can be achieved. For instance, good results were obtained between SPI5 in May and SQI5 in June (i.e., SPI one month early, $R_2 = 0.81$) and SPI6 in June and SQI6 in August (i.e., SPI 2 months early, $R_2 = 0.84$).

This approach can help to increase the endowment of useful instruments to increase the resilience of the territories, with a strong agricultural vocation and of national importance, in the face of an increasing risk of drought.

Parole chiave

Opportunità di previsione della siccità, previsione della siccità, regioni del nord Italia, dataset ARCIS

Keywords

Drought forecasting opportunities, Drought forecasting, Northern regions of Italy, ARCIS dataset

Introduction

Rising global temperatures are likely to drastically reduce freshwater availability (by 2-15% for 2°C warming), especially in Mediterranean regions (Antolini et al., 2016, Brunetti et al., 2006, Toreti and Desiato, 2008, Cramer et al. 2018; Gorguner and Levent, 2020). The vulnerability of water resources in the Mediterranean area will call for management plans focused on water uses, including adapting irrigation demand to climate change (Rocha et al, 2020).

Drought is among the major side-effects of climate change for agriculture (Maleka et al, 2018; Nerantzaki et al, 2019; Del Buono, 2021). Currently, Italy has experienced several prolonged drought events and large interannual weather variability, putting the profitability of farmers at risk (García-León, 2021). At the same time, summer droughts,

representing a relevant aspect of local climatology, are observed to increase significantly over the last 60 years (Pavan et al, 2019), while surface temperature has been observed to increase significantly particularly in summer (refs). Both these aspects of current observed climate are expected to be exacerbated by future climate change, which may lead to an increase in the amount of irrigation needed to sustain crop growth (Del Buono 2021). Several attempts have been made to develop a drought index capable of capturing the combined spatial and temporal characteristics of precipitation scarcity and heat waves (Zampieri et al., 2017). The Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) are among the most well-established examples. These indices cumulate meteorological anomalies over a wide range of time frames,

that is, from short to long period (e.g., 1 month, 6 months, 12 months, etc.) so as to **reflect the timescales in the response of different water resources**, such as river discharges and storage.

River discharge inevitably reflect the rainfall variability at seasonal scales, but is also an indicator of hydrological droughts and floods as well as of the whole basin water availability. Thus, the ability of predicting seasonal river discharge from seasonal precipitation could provide a new effective early warning system for water management at basin scale. Even if these indices have been extensively used for identifying the development and the characterization of drought events, just a limited studies have examined their potential effectiveness in river discharge estimates and forecasts (Du et al., 2013, Wang et al., 2017). Nevertheless, in the following it is shown that the correlations between a newly developed Standardized River Discharge Index (SQI) and the SPI, the latter computed up to 4 months in advance respect to the SQI reference month, are strong and could enhance the development of actionable services to alert stakeholders of potential drought risks, especially in the agronomic field. These results are meant to be used to set up an operational climate service to provide usable and salient information to support drought risk management over the Mediterranean area. made available by the Drought Observatory (DO) of CNR-IBE (Magno et al., 2019).

Methods

Source data

Po river discharge data (Pontelagoscuro gauging site, monthly averages [$\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{sec}^{-1}$]) are available for the period 1961-2022 from Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna (ARPAE, <https://www.arpae.it/it>). Let us define as Q the time series of monthly Po river discharge data. On the other hand, SPI was computed by using the ARCIS precipitation dataset (Pavan et al. 2019), a gridded observational dataset of daily precipitation [mm] over North-Central Italy from 1961 to present. To aggregate precipitation data at the river basin scale, the geometries (i.e., shapefile) defining the boundaries of the catchment area at the outlet of Pontelagoscuro site and provided by the European Environment Agency (EEA, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/european-river-catchments-1>) were used.

Data harmonization to consistent spatial-temporal scale

Daily precipitation data were cumulated on a monthly scale and averaged throughout the grid points within the Pontelagoscuro watershed so as to obtain an average monthly precipitation (P). In this way, a 62-year time series (1961-2022) of monthly values of P that is time- and spatial-wise consistent with the data of Q was obtained. Furthermore, river discharge data were converted into mm of water equivalent dividing the volume of water flowed

out (m^3) in each month by the basin area (approximately 70000 Km^2).

SPI and SQI

P was used to calculate the Standardized Precipitation Index (SPI) normalising the precipitation anomaly for a specific time frame with respect to the corresponding climatological reference value. Specifically, SPI was computed for multiple time frames (i.e., from 1 to 36 months) for each month of the period ranging from January 1991 to December 2022, using as climatological reference the period 1961-1990. The joint exploration of multiple time frames at shorter scales is crucial to assess the impacts of short term precipitation anomalies on river discharge. On the contrary, for longer time frames, **the SPI strongly reflect the duration** of precipitation anomalies over the past months and can be used to evaluate the relationship between long term precipitation anomalies and the occurrence of hydrological droughts (Du et al., 2013).

The SPI was computed following the method of Lloyd-Hughes and Saunders (2002).

Since the World Meteorological Organization (WMO) promotes the standardization of meteorological and hydrological observations to ensure uniform statistics and consistency of hydro-meteorological variables (Rodda, 2011), Q was also standardized following the same methods used for the SPI. The rationale behind our choice relies on the river discharge behaviour, which is typically characterized by asymmetric right-skewed distribution of only-positive values, as P. Moreover, average values of Q may reflect both near and long anomalies in precipitations, depending on the morphology and the extent of the catchment area. Hence, as for SPI, we computed a Standardized River Discharge Index (SQI) for multiple time frames (i.e., from 1 to 36 months) for the reference months ranging from January 1991 to December 2022, whereas the period 1961-1990 were use as baseline.

Pairwise correlation test

SQI and SPI were subjected to a pairwise Pearson correlation test (Dunn & Clark, 1986) to measure the strength of linear relationships at multiple time frames (i.e., 1-36 months). Moreover, since the SQI could be time-lagged correlated to the SPI, the pairwise correlation test was also performed considering the reference months of the SPI up to 4 months ahead of the SQI.

Results and Discussion

The investigation of potential correlation between SQI and SPI at multiple time frames and different time lags results in correlation matrices of shape (36 x 36 x 4) where 36 are the multiple time frames adopted to compute the SQI and SPI, and 4 is the number of time-lags investigated between the reference month of SQI respect that of the SPI. Figure 1 shows the correlation matrix between SPI and SQI at the time-lag 1 (i.e., reference month of SPI in advance of 1 month respect to the SQI) where the maximum correlation ($r = 0.92$) is achieved with the time frame 18 (red point in

the figure). In general, Figure 1 shows that correlations between SQI and SPI are higher alongside the diagonal, suggesting that linear correlation is maximized by considering $SQI(t-1)$ and $SPI(t)$ for every t between 1 and 36 months.

These results, obtained from an exploratory approach, allow for a large number of follow-up insights. For illustrative purposes, we report an example: due to evidence of strong correlations between equivalent time frames of SQI and SPI, and given the need of having a forecasting tool on drought and water resources management, in Figure 2 we show the correlations between SQI and SPI computed over equivalent time frames (e.g., SPI1 vs SQI1, SPI2 vs SQI2, etc) ranging from March to September, which is the period when the agriculture irrigation water need is locally at its maximum. Moreover, Figure 2 shows the results for SQI computed up to 4 months-lag with respect to the SPI reference month. The highest correlations (Fig. 2, yellow cells showing the value of r^2) are generally found for SQI with one month-lag (or equivalently SPI one month ahead). In June however, the SPI6 shows the highest correlation with the SQI6 of August. In other words, knowing the SPI6 for June, would let us to predict the SQI6 of August.

A further insight is presented in Figure 3 where timeseries of SPI6-June and SQI6-August are plotted over the whole period (1961-2022, Fig. 3 left panel) and compared through a scatter plot (Fig. 3, right panel). The insight on the case SPI6-June vs SQI6-Aug shows the presence of a significant link between two time series, opening the possibility of predicting SQI6-August peaks by using the SPI6-June index.

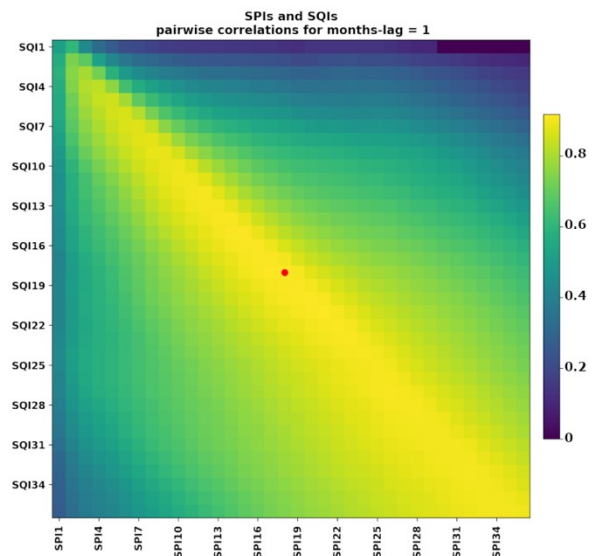


Fig.1 – Correlazioni (R^2) tra SQI e SPI calcolati su periodi temporali da 1 a 36 mesi e sfasati di un mese, $SQI(t-1)$ and $SPI(t)$ – Pairwise correlations (R^2) between SQI and SPI computed on time frames from 1 to 36 months at time lag , $SQI(t-1)$ and $SPI(t)$.

Fig.1 - Correlations (R^2) between SQI and SPI calculated on time periods from 1 to 36 months and shifted by one month, $SQI(t-1)$ and $SPI(t)$ – Pairwise correlations (R^2) between SQI and SPI computed on time frames from 1 to 36 months at time lag , $SQI(t-1)$ and $SPI(t)$.

Conclusion

Water resource management requires valuable and usable tools for salient information, especially when severe drought hammer key farming regions. The approach described in the present work can contribute to increase the endowment of useful instruments to increase the resilience of the territories, with a strong agricultural vocation and of national importance, in the face of an increasing risk of drought, although it must be remembered that the results on the correlation between basin precipitation and river discharge for the Po river might be significantly affected by the geographical extent and by the morphological and climatological aspects of the geographical area encompassed by the basin.

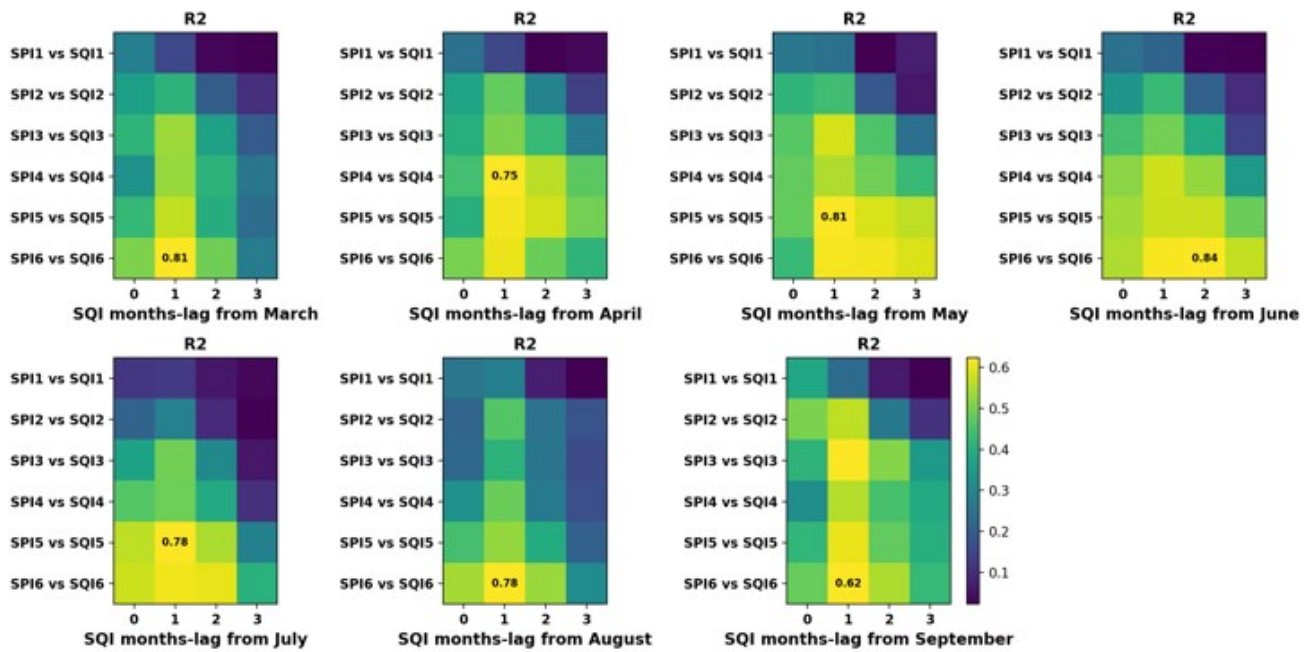


Fig.2 Correlazioni (R^2) tra SQI e SPI calcolati su periodi temporali equivalenti da 1 a 6 mesi e considerando fino a 4 mesi anticipo tra il mese di riferimento di SPI e SQI . Le celle con il valore di R^2 identificano il risultato migliore tra quelli esplorati

Fig.2 - Correlations (R^2) between SQI and SPI calculated on equivalent time periods from 1 to 6 months and considering up to 4 months advance between the reference month of SPI and SQI . The cells with the value of R^2 identify the best result among those explored.

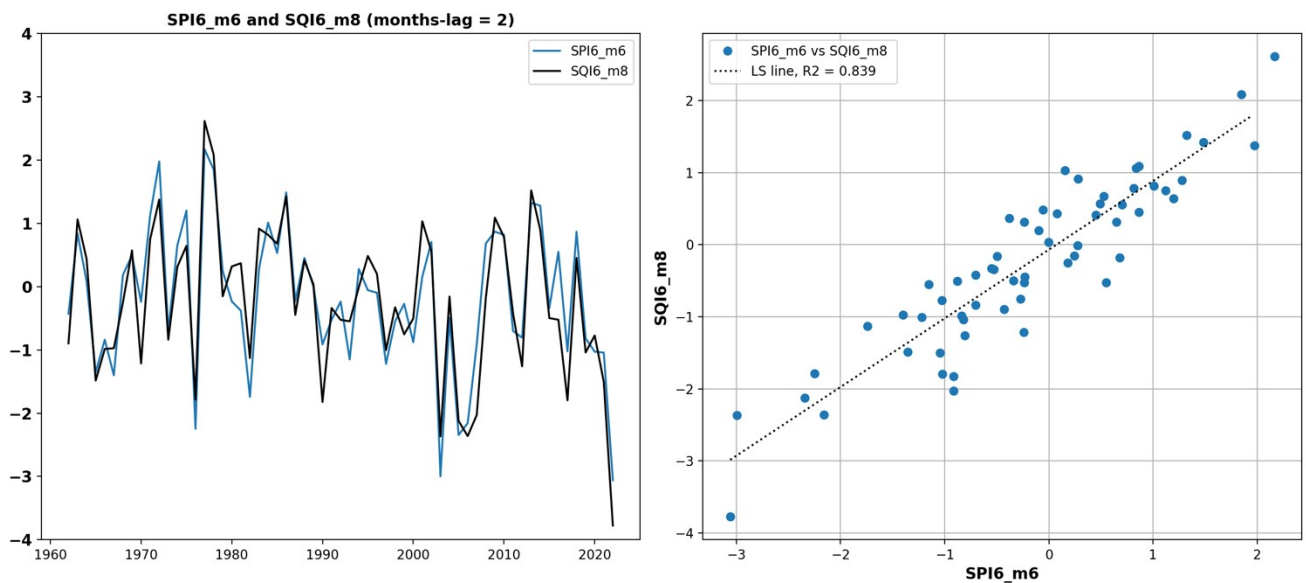


Fig.3 SPI_6 di Giugno ed SQI_6 di Agosto time series (dal 1961 al 2022, pannello di sinistra) e grafico a dispersione (pannello di destra). La Fig. 3 è un approfondimento del miglior risultato mostrato in Fig.2

Fig. 3 - SPI_6 of June and SQI_6 of August timeseries (from 1961 to 2022, left panel) and scatter plots (right panel). Fig. 3 is an insight of the best result show in Fig.2

References

- Antolini, Auteri, Pavan, Tomei, Tomozeiu, and Marletto, (2016). A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961–2010. *International Journal of Climatology*, 36(4), 1970-1986.
- Brunetti, Maugeri, Monti, and Nanni, (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(3), 345-381.
- Cramer, Guiot, Fader, Garrabou, Gattuso, Iglesias, and Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8(11), 972-980.
- Del Buono, (2021). Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. *Science of the Total Environment*, 751, 141763
- Du, Fang, Xu, and Shi, (2013). Analysis of dry/wet conditions using the standardized precipitation index and its potential usefulness for drought/flood monitoring in Hunan Province, China. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 27, 377-387.
- Dunn, and Clark, (1986). *Applied statistics: analysis of variance and regression*. John Wiley & Sons, Inc.
- García-León, Standardi, and Staccione, (2021). An integrated approach for the estimation of agricultural drought costs. *Land Use Policy*, 100, 104923
- Gorguner, and Kavvas, (2020). Modeling impacts of future climate change on reservoir storages and irrigation water demands in a Mediterranean basin. *Science of the Total Environment*, 748, 141246.
- Lloyd-Hughes, and Saunders, (2002). A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(13), 1571-1592.
- Magno, De Filippis, Di Giuseppe, Pasqui, Rocchi, and Gozzini, B. (2018). Semi-automatic operational service for drought monitoring and forecasting in the Tuscany region. *Geosciences*, 8(2), 49.
- Pavan, Antolini, Barbiero, Berni, Brunier, Cacciamani, C., ... and Torrigiani Malaspina, (2019). High resolution climate precipitation analysis for north-central Italy, 1961–2015. *Climate Dynamics*, 52, 3435-3453.
- Malek, Verburg, Geijzendorffer, Bondeau, and Cramer, (2018). Global change effects on land management in the Mediterranean region. *Global Environmental Change*, 50, 238-254.
- Nerantzaki, Efstathiou, Giannakis, Kritsotakis, Grillakis, Koutroulis, ... and Nikolaidis, N. P. (2019). Climate change impact on the hydrological budget of a large Mediterranean island. *Hydrological Sciences Journal*, 64(10), 1190-1203.
- Rocha, Carvalho-Santos, Diogo, Beça, Keizer, and Nunes, (2020). Impacts of climate change on reservoir water availability, quality and irrigation needs in a water scarce Mediterranean region (southern Portugal). *Science of the Total Environment*, 736, 139477
- Rodda, (2011). *Guide to Hydrological Practices: vol. I: Hydrology—From Measurement to Hydrological Information, and vol. II: Management of Water Resources and Application to Hydrological Practices, 2008 and 2009*, WMO 168, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland; Price CHF70. 00; ISBN 978-92-63-10168-6.
- Toreti, and Desiato, (2008). Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 28(6), 733-745.
- Wang, Chen, Chen, Liu, and Gao, (2017). Flood/drought event identification using an effective indicator based on the correlations between multiple time scales of the Standardized Precipitation Index and river discharge. *Theoretical and Applied Climatology*, 128, 159-168.
- Zampieri, Ceglar, Dentener, and Toreti, (2017). Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales. *Environmental Research Letters*, 12(6), 0640.

C-INDEX: UN ALGORITMO DATA-DRIVEN PER LA DEFINIZIONE DI UN INDICE COMPOSITO IN GRADO DI VALUTARE LE INTERAZIONI DI MOLTEPLICI FATTORI DI STRESS CLIMATICO SUI RACCOLTI

C-INDEX: A DATA-DRIVEN ALGORITHM FOR THE DEFINITION OF A COMPOSITE INDEX ABLE TO ASSESS THE INTERACTIONS OF MULTIPLE CLIMATE STRESS FACTORS ON CROP YIELDS

Arianna Di Paola^{1*}, Edmondo Di Giuseppe¹, Massimiliano Pasqui¹

¹ National Research Council of Italy, Institute for BioEconomy, Rome, Italy

* arianna.dipaola@ibe.cnr.it

Abstract

Although a large part of Italy is characterized by a Mediterranean climate intrinsically highly suitable for olive cultivation, farmers may experience high variability of interannual yields with associated agronomic and management costs. Thus, a synoptic picture of the main climate stressors and their additive impact on yield could improve the development of effective and timely climate services for risk management. In this work we present an algorithm to develop a composite index that summarizes the risk of having exceptionally low yields due to the occurrence of multiple climatic stressors.

The approach distinguishes between two broad yield classes, namely exceptionally high and exceptionally low, and iteratively explores the climatic variables, aggregated on a monthly (vine) and bimonthly (olive) time scale, which co-occurrence mostly determines exceptional low yields. For illustrative purposes, here we present the resulting composite index (C-index) developed on olive and grapevine yield data provided by the Italian National Statistics Institute (ISTAT) at the provincial level during 2006–2020, and several climatic variables from the Reanalysis v5 (ERA5) of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). The C-index is a work-in-progress that could pave the way for an integrated seasonal weather forecasting system to provide timely information on the occurrence of climatic stresses within the agricultural season.

Parole chiave

Servizi Climatici, Rese eccezionali, previsioni stagionali, condizioni climatiche sfavorevoli, olivo e vite.

Keywords

Climate services, exceptional yields, seasonal forecast, climate stress, olive and grapevine

Introduction

Olive (*Olea europaea* L.) and grapevine (*Vitis vinifera* L.) are long-lived drought-tolerant species highly adapted to the Mediterranean climate (Connor, 2005) and are among the oldest and most important tree crop species globally (Caracuta, 2020). Nevertheless, in highly suitable areas, farmers may experience interannual yield variability due to both abiotic and biotic factors (Ray et al., 2015).

Yield variability has important socio-economic effects on longer-term farm commercial viability (Dono et al., 2016), strategic agricultural planning (Smit et al., 1996), and the formulation of public agricultural policy (Lobell & Ortiz-Monasterio, 2006). Due to the importance of yield stability, the identification of seasonal climate stressors and their interplays having the greatest impacts on yield declines could help the development of effective climate services. To this end, we developed a data-driven algorithm to build a composite index (C-index) able to summarize the risk of achieving an exceptional low yield due the co-occurrence of multiple climate stressors. Here, we present the underlying approach and rationale surrounding the C-index algorithm and the resulting composite index for olive and grapevine over the Italian peninsula.

Methods

Data Sources

Olive and grapevine yields [Mg ha^{-1}], used to label exceptionally low and high yields (^LY and ^HY , respectively), were retrieved from the Italian National Statistics Institute (ISTAT) at the provincial level for the period 2006–2020 (i.e., 15-year timeseries).

The set of explanatory variables were computed using native ERA5 and ERA5_LAND dataset (Muñoz-Sabater et al., 2021) of the Copernicus Climate Database of the European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF).

The full procedure to compute the explanatory variables (Tab. 1) is fully presented in Di Paola et al. (2023). In brief, climate-related variables were spatially aggregate at provincial level to aid comparison with yields data; many variables were aggregated on a bimonthly (olive) or monthly (grapevine) time scale, while eight variables were aggregated on over the full growing season (marked by subscript “_a” in Tab.1). The six bimonthly periods used for olive are January-February, March-April, May-June, July-August, September-October, and November-December, denoted by subscripts “_bx” where $x = 1, \dots, 6$ is the ordinal integer of the bimonthly interval months (e.g., $T_{\text{max_b1}}$ = Maximum temperature of

the first bymonth). Likewise, the monthly periods for grapevine range from April to October, denoted by subscripts "_mx" where x = 4,...,10 is the ordinal integer of the months (e.g., Tmax_m4 = Maximum temperature of April). The whole data frame for the explanatory variables consists of 104 features for olive (16 variables computed for 6 bymonthly periods and 8 annual indices) and 120 features for grapevine (16 variables computed for 7 and 8 growing season length indices)

Tab. 1. Lista delle variabili climatiche indipendenti usate come input nell'algoritmo C-index;

Tab. 1. List of climate independent variables used as input in the data-driven algorithm for computing the C-index.

Acronym	Long name	Unit
Tmin	Minimum air temperature at 2 meters	°C
Tmax	Maximum air temperature at 2meters	°C
Tave	Average temperature at 2 meters	°C
SSR	Average daily surface net solar radiation	J m-2
ET	Potential evapotranspiration	mm
VPD	Average daily maximum Vapor Pressure Deficit	kPa
RH	Average relative humidity	0-100
SWC	Average volumetric soil water	dimensionless
RR	Cumulative total Rain	mm
DTR	Average daily temperature range	°C
R1max	maximum 1-day precipitation	dimensionless
R5max	maximum consecutive 5-days precipitation	dimensionless
SDII	Simple precipitation intensity index	dimensionless
CDD	Maximum length of dry spell	dimensionless
CWD	Maximum length of wet spell	dimensionless
GDD	growing degree day above 0°C	°C
FD	Number of Frost days	dimensionless
ID	Number of icing days	dimensionless
SD	Number of Summer days	dimensionless
TN	Number of Tropical Nights	dimensionless
GSL	Growing season length	dimensionless
RR10	count of days when daily precipitation is larger than 10mm	dimensionless
RR20	count of days when daily precipitation is larger than 20mm	dimensionless
RRa	Total Rain	mm

Exceptional yields

Yields and climatic variables time series were standardized using Z-scores (thus obtaining a values' distribution with mean=0 and standard deviation =1, Larson et al., 2009). Then, in each province, ^LY and ^HY were defined as yields below or above one standard deviation of such distribution, i.e., Z-scores <-1 and Z-scores > 1, respectively. The goal of this selection was to identify yields that, on a broad spatial scale, were most affected by climatic variability given the superimposition of other drivers such as microclimatic conditions and management factors between fields. In summary, data of yields were arranged into arrays of categorical data (i.e., ^LY, ^HY, "normal") of shape [M x 15], where M = number of provinces with complete 15-years timeseries (M=66 for olive; M=95 for grapevine), ^LY and ^HY

identify the provinces and related year where an exceptional yield occurred, whereas "normal" identifies a non-exceptional yield. Likewise, explanatory variables were organized into arrays of the same shape of ^LY and ^HY.

Variables pre-selection

Since some variables may be redundant and/or have no effect of yields outcomes, a variables reduction is proposed before proceeding with the computation of the C-index. In this methodological framework, independent variables resulting in a significant two-tailed Mann-Whitney U test (MWU) under ^LY and ^HY were selected. Moreover, a stress "direction" was defined for each explanatory variable since, depending on the variable, exceptionally low yields may be linked to positive or negative Z-scores. Selected variables were then ranked according to the Fisher's distance D (Fisher 1936), namely a measure of the distance between low and high yield probability density functions:

$$D = \frac{(\mu_L - \mu_H)^2}{(\sigma_L - \sigma_H)^2} \quad (1)$$

where μ_L and μ_H are the distribution mean values of a variable under ^LY and ^HY, respectively, and σ_L and σ_H their corresponding standard deviations. Finally, the ranked variables were subjected to a pairwise Pearson correlation test (Dunn and Clark, 1986) to assess collinearity and discard redundant ($r > 0.6$) variables (i.e., when correlated, the first ranked variable was retained, the other discarded). In this way, the number of variables to be analysed was reduced to a subset of say K variables.

C-index algorithm

Potential interactions between variables were examined by determining which variables combined cumulatively in a composite index maximize the value of D (i.e., maximize the objective function of Eqn. (1)). Specifically, a composite index C can be computed as:

$$C = \sum_{j=1}^J X_j \quad (2)$$

where J[1,...,K] is the number of selected explanatory variables, and X_j is the Z-score of j-th variable. The rationale behind the development of the composite index is the following: if the distance computed for a composite index (^CD) given by the sum of two variables (e.g., C = Tmax_b1 + Tmax_b5) is larger than that from each component separately, we can infer that ^LY or ^HY are affected by the joint effect of the two components more than by the individual components. However, interactions between components may reduce, increase, or have no effect on ^CD, and hence we are aimed at including only those variable Z-scores that maximize ^CD. The composite index C that maximizes ^CD (i.e., which C is better at detecting exceptionally low and high yields) is determined by a forward-stepwise algorithm that is

fully described in Di Paola et al. (2023) and freely available for download as Python code on Zenodo (<https://doi.org/10.5281/zenodo.7217580>). The C-index, as an optimisation algorithm, can also be included in more complex algorithms as shown in the grapevine case.

Likelihood for exceptional low yields

The sum of single components defining the C-index provide a cumulative Z-score for single years and province. The higher the values of cumulative Z-score, the stronger should be the severity of the stressful conditions. To this end, the capacity of the C-index to identify LY was estimated as the likelihood ratio (LE) of obtaining an observed ${}^L Y$ given different critical Z-score thresholds for C (in this case, $S = [-4 \text{ to } 5]$).

The C-index as objective function for clustering.

Data may be affected by noise, error, and bias of different sources. Meanwhile, some provinces may have similar responsiveness to climate-stressors. To improve the results, the C-index can be used as objective function to cluster similar provinces. To this end, the C-index algorithm was nested into another forward-stepwise procedure where the removal (or addition) of single provinces may be explored iteratively. Specifically,

1) let us select a starting set of provinces and calculate the composite risk index C. In the present work, we start by selecting the first 30 out of 95 top-ranked provinces in production-shares.

2) from the remaining provinces, the addition of each single province to the starting cluster is explored and the resulting C is redefined. The province that provides the major gain in the Fisher distance of the new C is added to the initial cluster.

3) repeat step (2) the times needed to add all the remaining province.

At the end of this procedure, it is possible to draw the curve of maximum ${}^C D$ obtained by the forward-stepwise addition of each province and look for the provinces underlying the peak value of ${}^C D$.

Results and Discussion

The composite risk index for Olive, all provinces

Of the 104 independent climatic variables analysed, 54 variables showed significantly different distributions for ${}^H Y$ and ${}^L Y$ using the MWU test, but only 23 remained after checking for collinearity (i.e., $K = 23$). Such K variables were used to compute the C-index (i.e., the best composite risk index identified by the forward-stepwise procedure describe in Di Paola et al., 2023) for olive (Fig. 1).

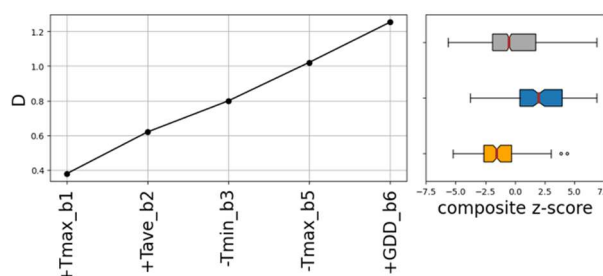


Fig. 1. C-index per Olivo. C è composto da cinque componenti, qui disposti in ordine cronologico. Pannello di sinistra: distanza di Fisher raggiunta man mano che si aggiungono le componenti a C. I simboli “-” e “+” indicano la “stress direction”. Pannello di destra: boxplot delle distribuzioni (Z-score) ottenute dalla somma delle componenti di C sotto ${}^L Y$ (boxplot blu), ${}^H Y$ (boxplot arancione), e tutti i dati (boxplot grigio).

Fig. 1. Resulting C-index for Olive. C is composed by five components, here arranged in chronological order. Left panel: Fisher distance reached as components are added to C. The symbols “-” and “+” denote the stress direction of the variable. Right panel: boxplots of Z-score distributions obtained from the selected components of C under ${}^L Y$ (blue boxplot), ${}^H Y$ (orange boxplot), and all data (grey boxplot).

The resulting C for olive suggests that a relatively cool late spring (represented by the negative sign for Tmin_b3) following a relatively warm winter and early spring (positive sign for Tmax_b1 and Tave_b2) increases the probability of attaining an exceptionally low yield (i.e., ${}^L Y$). Note that the second and third bimonthly periods in Italy occur during bud break, flowering, and fruit set periods. Further, the probability of ${}^L Y$ is increased by a relatively cold early-autumn (-Tmax_b5) and high temperatures during the harvest period (+GDD_b6).

The corresponding likelihood of ${}^L Y$ expressed by the C-index ranges from 0.28 (for C-index > 1, low severity) to 0.493 (for C-index > 5, high severity). Note that C includes five components strongly related to air temperature and physiological time (degree days) corroborating that (i) temperature in winter-to-early spring and late autumn are important determinant drivers of the whole productive year, and (ii) that temperature has the highest impact at a broad spatial-temporal scale.

The composite risk index for grapevine, optimized for a cluster of provinces.

For grapevine, 31 variables showed significantly different distributions for ${}^H Y$ and ${}^L Y$ using the MWU test, but only 11 remained after checking for collinearity (i.e., $K = 11$). The resulting C for grapevine using all the provinces (i.e., as done for olive) achieved a $D = 0.87$. When nested into a forward-stepwise iteration the best C index was obtained through the recursive addition of 30 provinces to the initial cluster (Fig 2a, added provinces = 30, total provinces = 60; production shares = 97%; $D = 3.2$). Selected provinces are scattered over

the whole country without any clear geographical pattern (Fig 2b). The use of the C-index for clustering a set of more performing provinces provided a better segregation between exceptional yields (Fig 2c, boxplots).

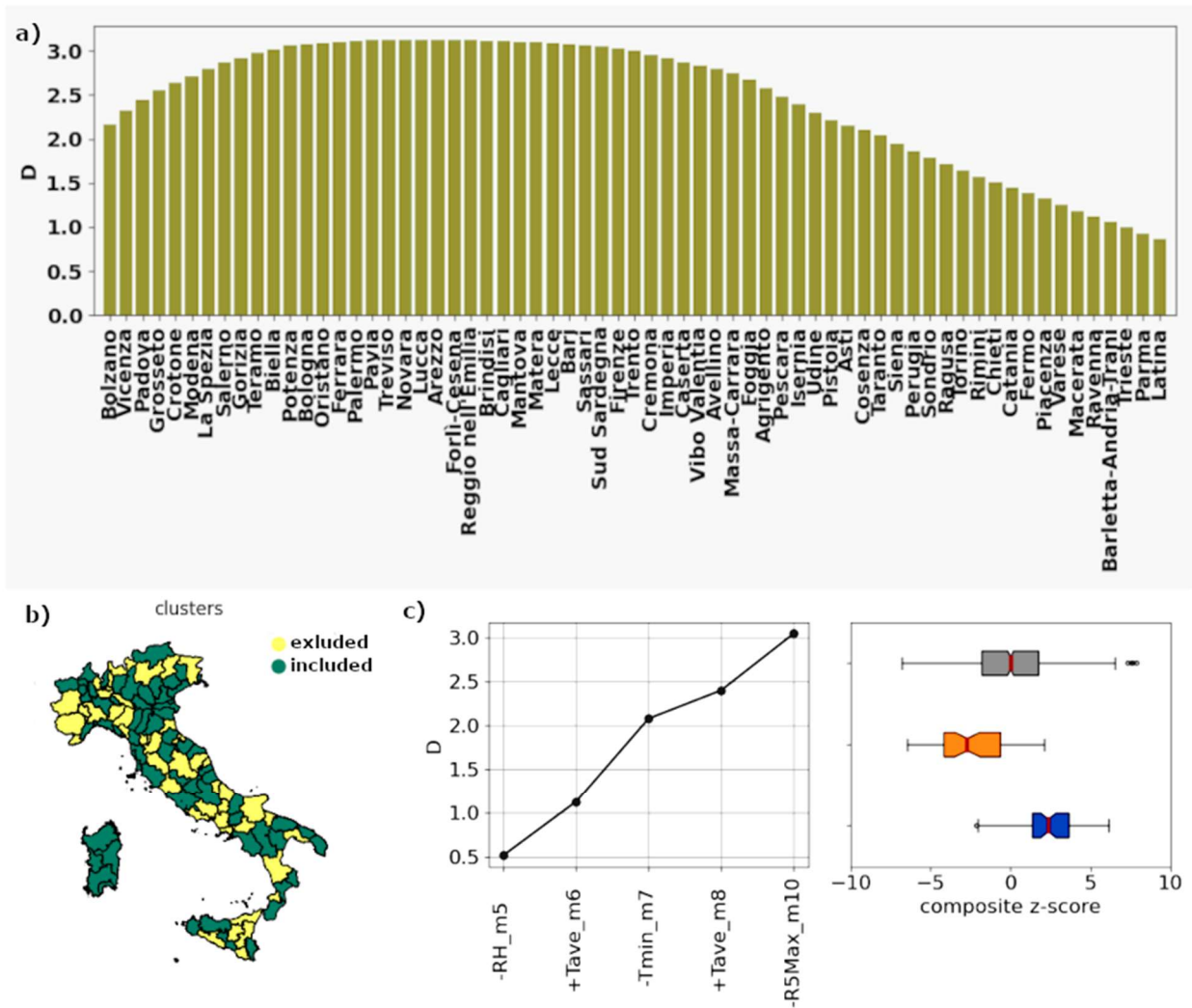


Fig. 2. Cluster di province che identificano il miglior C-index per la Vite. Panel a) province addizionali al cluster iniziale che massimizzano il C-index. Di queste sono state scelte le prime 30. Panel b) distribuzione spaziale del cluster di province (60) che massimizzano il C-index; panel c) Componenti del C-index per il cluster di province selezionato. Figure e simboli come in Figura 1.

Fig. 2. Clusters of provinces that determine the highest C index for Grapevine. Panel a) additional provinces to the initial cluster that maximize the C-index. The first 30 ranked provinces were selected. Panel b) spatial distribution of the cluster of provinces (60) maximizing the C-index; panel c) Resulting C-index (D and single components) for the selected cluster. Figures and symbols as in Figure 1.

Climatic stressors and their co-occurrences in determining exceptionally low yields comprise a sequence of negative and positive alternating anomalies between May and August, mainly related to air temperature and humidity. However, different initial clusters should be tested to draw robust results. Here we just aimed at showing the

potentiality of the algorithm as well as possible further developments.

Conclusion

We suggest the composite risk index is a potentially useful tool for developing an integrated meteorological seasonal forecasting system that provides timely insight on factors affecting within-season olive yield development. Moreover, the C-index algorithm has the notable advantage of returning interpretable results, since components can be identified and interpreted from an ecological point of view, providing a suitable tool for gain new scientific knowledge. Our composite index approach is a work in progress that we believe could be also integrated into a more comprehensive Decision Support System or more complex data-driven algorithm as shown here for the first time by the grapevine case study.

References

- Caracuta, V. (2020). Olive growing in Puglia (southeastern Italy): A review of the evidence from the Mesolithic to the middle ages. *Vegetation History and Archaeobotany*, 29, 595–620. <https://doi.org/10.1007/s00334-019-00765-y>
- Connor, D. J. (2005). Adaptation of olive (*Olea europaea* L.) to water-limited environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1181–1189. <https://doi.org/10.1071/AR05169>
- Dono, G., Cortignani, R., Dell'Unto, D., Deligios, P., Doro, L., Lacetera, N., Mula, L., Pasqui, M., Quaresima, S., & Vitali, A. (2016). Winners and losers from climate change in agriculture: Insights from a case study in the Mediterranean basin. *Agricultural Systems*, 147, 65–75
- Di Paola, A., Di Giuseppe, E., Gutierrez, A P., Ponti, L., & Pasqui, M. (2023). Climate stressors modulate interannual olive yield at province level in Italy: A composite index approach to support crop management. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 00, 1–14. <https://doi.org/10.1111/jac.12636>
- Fisher, R. A. (1936). The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics*, 7, 179–188.
- Larson, R., Farber, E., & Farber, E. (2009). *Elementary statistics: Picturing the world*. Pearson Prentice Hall.
- Lobell, D. B., & Ortiz-Monasterio, J. I. (2006). Regional importance of crop yield constraints: Linking simulation models and geostatistics to interpret spatial patterns. *Ecological Modelling*, 196, 173–182.
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., & Hersbach, H. (2021). ERA5-land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13, 4349–4383.
- Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6, 1–9.
- Smit, B., McNabb, D., & Smithers, J. (1996). Agricultural adaptation to climatic variation. *Climatic Change*, 33, 7–29.