



**Atti del XXI Convegno Nazionale di Agrometeorologia**

# **Agrometeorologia per le Politiche di Sviluppo Rurale**

## **Agrometeorology for Rural Development Policies**

**Roma 19-20-21 giugno 2018**

A cura di Francesca Ventura, Elisa Guerra, Filiberto Altobelli

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari  
Università di Bologna

**RETERURALE  
NAZIONALE  
20142020**



**ISBN.** 9788898010820

**DOI.** <http://doi.org/10.6092/unibo/amsacta/5886>

### **Comitato Scientifico**

Federico Spanna  
Francesca Ventura  
Marco Mancini  
Domenico Ventrella  
Marco Acutis  
Gabriele Cola  
Maria Carmen Beltrano  
Vittorio Marletto

### **Comitato organizzatore locale**

Filiberto Altobelli  
Alessandro Monteleone  
Francesco Faggioli  
Stanislao Esposito  
Giovanni Dal Monte  
Flora De Natale  
Barbara Parisse  
Chiara Epifani

### **Segreteria Organizzativa**

Simone Falzoi  
Tiziana La Iacona  
Irene Vercellino

Foto di copertina AdobeStock

Bologna, 2018 

**Atti del XXI Convegno Nazionale di Agrometeorologia**

# **Agrometeorologia per le Politiche di Sviluppo Rurale**

## **Agrometeorology for Rural Development Policies**

**Roma 19-20-21 giugno 2018**

A cura di Francesca Ventura, Elisa Guerra, Filiberto Altobelli

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari  
Università di Bologna

**RETERURALE  
NAZIONALE  
20142020**



# AGROMETEOROLOGIA PER LE POLITICHE DI SVILUPPO RURALE

## AGROMETEOROLOGIA E MODELLI DI STIMA, SIMULAZIONE E PREVISIONE PER LA DIFESA DA AVVERSITÀ BIOTICHE ED ABIOTICHE

ESISTONO CRITERI PER SELEZIONARE I MODELLI PER LA PROTEZIONE DELLE PIANTE IN IPM? .....	8
<i>Rossi V., Gilioli G.</i>	
AFFRONTARE IL RISCHIO DI SICCA' CON LA CONOSCENZA E LE PREVISIONI STAGIONALI.....	13
<i>Pasqui M., Di Giuseppe E., Magno R., Rapisardi E</i>	
IL MODELLO DI SVILUPPO DIMOSFRU PER LA DROSOPHILA SUZUKII.....	16
<i>Perini L., Raparelli E., Scaglione M</i>	
ANALISI CLIMATICA PER UNA MODERNA VITICOLTURA IN GEORGIA.....	21
<i>Cola G., Mariani L. Maghradze D., Brancadoro L., Failla O</i>	
CLIMATOLOGIA DI PARAMETRI MICRO-METEOROLOGICI IN VIGNETI ITALIANI.....	23
<i>Andreoli V., Barbesino C., Cassardo C., Ferrarese S., Lecca M., Spanna F.</i>	
STIMA DEL LAI DI FRUTTETI ATTRAVERSO IL COEFFICIENTE DI ESTINZIONE DELLA RADIAZIONE.....	28
<i>Ventura F., Battilani A., Guerra E., Letterio T.</i>	



## AGROMETEOROLOGIA PER L'USO SOSTENIBILE DELLE RISORSE NATURALI IN AGRICOLTURA

OPPORTUNITÀ PER L'AGROMETEOROLOGIA DAL NUOVO CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN "ENVIRONMENTAL METEOROLOGY" PRESSO LE UNIVERSITÀ DI TRENTO E INNSBRUCK.....	33
<i>Zardi D.</i>	
LE APP AGROMETEO PER UNA AGRICOLTURA SOSTENIBILE.....	35
<i>Craveri L., Riparbelli C., Motta S., Delillo I., Checchetto F., Bonini Baraldi A.</i>	
EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA DISPONIBILITÀ' DI RISORSA IDRICA.....	39
<i>Olivo P., Iervolino D., Cicogna A., Barbieri S.</i>	
IMPRONTA IDRICA, CONSUMI DI ACQUA VERDE E BLU NELLA COLTIVAZIONE DEL POMODORO DA INDUSTRIA IN PUGLIA	46
<i>Ventrella D., Giglio L., Garofalo P., Dalla Marta A.</i>	
DISPOSITIVI LP-WAN PER LA RACCOLTA DI DATI METEO A LUNGA E LUNGHISSIMA DISTANZA.....	51
<i>Cielo P., Colucci G. P., Poletti M., Trincherò D.</i>	
DECEURO, UN ECONOMICO DATA LOGGER PER MONITORAGGIO AMBIENTALE.....	55
<i>Toller G., Piffer I.</i>	
IL MODELLO DI CRESCITA IVINE: DESCRIZIONE E ANALISI PRELIMINARI.....	57
<i>Andreoli V., Cassardo C., Ferrarese S., Picco S., Spanna F.</i>	
EVALUATION OF DROUGHT RISK BY COMPARATIVE ANALYSIS OF SPI AND RDI.....	62
<i>Zucaro R., Giannerini G., Tascone F.L., Antinoro C.</i>	
PROGETTO ALADIN: INTEGRAZIONE DI SISTEMI PER L'IRRIGAZIONE A RATEO VARIABILE.....	63
<i>Ventura F., Anconelli S., Letterio T., Vignudelli M., Mantovi P.</i>	
IRRISMAART: UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER LA VALUTAZIONE DEL FABBISOGNO IRRIGUO DELLE COLTURE .....	67
<i>Di Guardo A.</i>	
GIADA, UN SISTEMA CENTRALIZZATO PER LA GESTIONE DELL'IRRIGAZIONE A DOMANDA.....	70
<i>Zottele F., Roveri M., Rigo E., Simoni E., Villa P., Toller G.</i>	

## AGROMETEOROLOGIA PER LE POLITICHE PER LO SVILUPPO RURALE E LA PAC

SINERGIE TRA I SERVIZI AGROMETEOROLOGICI REGIONALI CON IL PROGETTO AGROMETEORE.....	74
<i>De Natale F., Alilla R., Dal Monte G., Epifani C., Esposito S., Gerardi E., Parisse B.</i>	
STUDIO PRELIMINARE PER UNA CLASSIFICAZIONE BIOCLIMATICA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA E SUA POSSIBILE VARIAZIONE FUTURA A SEGUITO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	77
<i>Cicogna A., Gallina V., Micheletti S.</i>	
SOLUZIONI TERRITORIALI AL SERVIZIO DELLE POLITICHE DI SVILUPPO RURALE.....	84
<i>Parisi S.G.</i>	
AGROAMBIENTE.ABRUZZO: SUPPORTO ALLE DECISIONI PER L'IRRIGAZIONE, LA CONCIMAZIONE E LA DIFESA NEL RISPETTO DEI DISCIPLINARI DI PRODUZIONE INTEGRATA .....	88
<i>Guidotti D., Pollastri L., Mazzocchetti A., Pietrangeli F., Giuliani D., Antenucci F., D'Ascenzo D., Di Lena B.</i>	
PROGETTO BRUMA: UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER LA DIFESA DAL BRUSONE DEL RISO IN PIEMONTE	92
<i>Rodolfi M., Biloni M., Silvestri S., Spanna F., La Iacona T.</i>	
MISURE DEI PARAMETRI METEOROLOGICI IN COLTURA PROTETTA INFLUENTI SULLA VARIABILITÀ DI POMODORO.....	95
<i>Sanna F., Deboli R., Calvo A., Merlone A.</i>	

## POSTERS

LA PIEZOMETRIA COME PROXY DATA DEGLI SHIFT CLIMATOLOGICI NELLA REGIONE ABRUZZO. PERIODO: 1951-2009	98
<i>Chiaudani A., Di Lena B., Mariani L., Rusi S.</i>	
ANALISI DEI FABBISOGNI IRRIGUI NETTI DI ALCUNE COLTURE DELLA PIANA DEL FUCINO.....	103
<i>Di Lena B., Guidotti D., Marchi S., Di Genova V.</i>	
L'AGROMETEOROLOGIA SUL SITO DELLA RETE RURALE NAZIONALE .....	108
<i>Esposito S., Alilla R., Dal Monte G., De Natale F., Epifani C., Gerardi, E., Parisse B.</i>	
ANDAMENTO CLIMATICO, QUALITÀ DELLE DRUPE E DELL'OLIO DI OLIVA IN BASILICATA NEL BIENNIO 2016-17 .....	112
<i>Lacertosa G., Quinto G.R D'Angella F., Caponero A., Scalcione E.</i>	
SPATIAL IDENTIFICATION OF CONSTRAINED ITALIAN AGRICULTURAL AREAS BY ADVERSE CLIMATIC CONDITIONS ACCORDING TO REGULATION (EU) No. 1305/2013 .....	115
<i>Lupia F., Frascchetti L., Storti D., Libertà A.</i>	
IRRIGAZIONE CLIMATIZZANTE SU MELO: STUDIO DEGLI EFFETTI MICROCLIMATICI, FISILOGICI E PRODUTTIVI.....	118
<i>Manfrini L., Gatti G., Solimando D., Letterio T., Morandi B., Corelli Grappadelli L., Bortolotti G., Tadić S., Rossi F., Facini O., Chieco C., Gerin M., Anconelli S.</i>	
VARIABILITÀ TERMICA DELLE OLIVE: UNO STUDIO PRELIMINARE IN VAL D'ORCIA (TOSCANA).....	123
<i>Petralli M., Baldi A., Brandani G., Fabbri C., Cecchi S., Vivoli R., Verdi L., Dalla Marta A., Mancini M., Orlandini S.</i>	
MODELLAZIONE DEGLI IMPATTI DI COLTURE ENERGETICHE SUL DEFLUSSO, SUL TRASPORTO DI SEDIMENTI E NUTRIENTI MEDIANTE IL MODELLO SWAT.....	126
<i>Pulighe G., Bonati G., Altobelli F., Lupia F., Colangeli M., Traverso L., Napoli M., Dalla Marta A.</i>	
PAESAGGI ITALIANI VISTA DA METEOSAT-SEVIRI E LORO PRODUZIONE PRIMARIA NETTA STIMATA DA TERRA-MODIS	128
<i>Spisni A., Muzzi E., Bettini S., Sapia D. L., Marletto V.</i>	
INTERCETTAMENTO DELLA PIOGGIA DA PARTE DELLE CHIOME: UN MODELLO UNIFICATO TESTATO SU ROVERE.....	133
<i>Volta A., Villani G., Panzacchi P., Ventura M., Magnani F., Marletto M., Tonon G.</i>	

# ARE THERE ELIGIBILITY CRITERIA FOR USABILITY OF PLANT PROTECTION MODELS IN IPM?

## *ESISTONO CRITERI PER SELEZIONARE I MODELLI PER LA PROTEZIONE DELLE PIANTE IN IPM?*

Vittorio Rossi<sup>1\*</sup>, Gianni Gilioli<sup>2</sup>, Tito Caffi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Sustainable Crop Production, Università Cattolica del Sacro Cuore, Via Emilia Parmense, 84, 29122 Piacenza, Italy

<sup>2</sup> Department of Molecular and Translational Medicine, Università di Brescia, Viale Europa, 11, 25123 Brescia, Italy

\*[vittorio.rossi@unicatt.it](mailto:vittorio.rossi@unicatt.it)

### **Abstract**

Plant protection models and other decision-support tools (DTs) have become important for integrated pest management (IPM) programs. Directive 128/2009/EC on sustainable use of pesticides defines the role of DTs in supporting decision making on whether and when intervene to protect the crops from harmful organisms. The Italian Action Plan assigns to Regional governments the responsibility of defining DTs suitable to the scope and making them (or their output) available for professional users. Several plant protection models exist in literature, which have been developed for different purposes, by using diverse approaches, in different climatic conditions and agricultural contexts. The criteria for comparing and selecting models for being usefully integrated in the Italian IPM schemes are discussed in this talk, including: model purpose and approach, biological mechanisms accounted for, driving variables, transparency, possibility of adaptation to local conditions, validation, evaluation of usefulness. Searching for a consensus on these criteria would be useful for developing a platform in which the suitable models can be made available for use.

### **Keywords**

Decision-support tools, Directive 128/2009/EC, mechanistic models, empirical models, integrated platform

### **Parole chiave**

Supporto delle decisioni, Direttiva 128/2009/EC, modelli meccanicistici, modelli empirici, piattaforma integrata

### **Introduction**

The directive 128/2009/EC on sustainable use of pesticides (SUD) makes integrated pest management (IPM) mandatory in the EU territory. Article 14 of the SUD, declares that all Member States shall establish or support the establishment of necessary conditions for the implementation of IPM. In particular, Member States shall ensure that professional users have at their disposal information and tools for pest monitoring and decision making. ANNEX III of the SUD lists the general principles of IPM, including that harmful organisms must be monitored by adequate methods and tools, which include observations in the field and warning, forecasting and early diagnosis systems, as well as the use of advice from advisors. Based on the results of the monitoring, professional users decide whether and when to apply plant protection measures. Sound threshold values are also essential components for decision-making.

IPM is based on dynamic processes and requires careful decision making at strategic, tactical, and operational levels. Strategic, tactical, and operational disease and pest management problems differ at both temporal and spatial scale (Rabbinge et al., 1993). Strategic decisions involve one to several years at both the farm level (e.g. crop rotation) and the crop level (e.g., the variety sown); farm owners or directors usually make these decisions. Tactical decisions are made by crop managers day by day, or within a day, in response to what is happening at the crop level (e.g., a disease outbreak that requires control actions). Operational decisions involve a fast response to crop or

within the crop situations (e.g., the sprayer setting based on the canopy size and shape) or to unpredicted events (e.g., the decision to postpone a plant protection product, PPP, application because of wind), and are mainly made by the employees who implement crop protection measures (Rossi et al., 2012).

The decision-making process in modern agriculture has increased in complexity; therefore, farmers must invest time in management, business planning, identification of required skills, and training to ensure that the correct crop management operations are selected (McCown, 2002). IPM also requires investment in data collection and detailed record keeping. In addition, decision makers must be provided with adequate methods and tools as well as threshold values to help them in determine where, when, and what kind of treatment is needed, and they must be aware of the full set of up-to-date information for the specific crop, pest, or disease. Decision makers must also know where to obtain expert advice, and they must be willing to accept scientific and technical innovations that benefit environment, food quality, and economic performance, and that can be integrated into the crop management as soon as they become reliable (EISA, 2001). Figure 1 shows that strategic (e.g., prevention and reduction of the pest inoculum), tactical (e.g., whether and when protecting the crop, what protection action, which PPPs to use and at which doses), and operational (e.g., what sprayer setting) decisions are all relevant in IPM (Rossi et al., 2012).

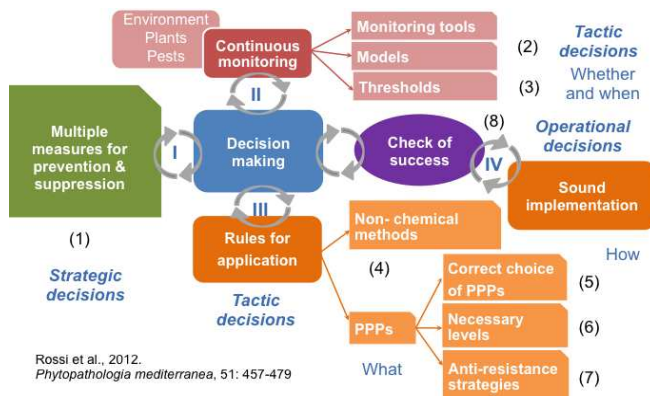


Fig.1- Diagram linking the 8 principles of IPM (Arabic numbers in brackets) of the SUD and the decision-making processes (Latin numbers). Decision tools support users in making knowledge-based decisions in strategic, tactic and operational decisions.

Fig.1 – Schema organizzativo dell'IPM con indicazione degli 8 principi elencati nella Direttiva 128/2009/EC (numeri arabi fra parentesi). I DT forniscono supporti per le decisioni strategiche, tattiche e operative.

### Tools for decision-making in IPM

A large number of models for forecasting harmful organisms and their management, risk algorithms, decision rules, intervention thresholds, and decision support systems (DSSs) have been developed to support decision-making in crop protection. These tools, collectively named decision tools (DTs) synthesize information for improving strategic, tactic and/or operational decisions. In some cases, these tools have been validated, adapted to local conditions, and are being used. DTs have been developed/adapted by: i) public research and extension centres; ii) plant protection organisations; iii) private companies/groups selling PPPs or services, or providing consultancy to farmers.

The state-of-the-art of DTs for IPM was reviewed by Rossi et al. (2012). DTs are currently used locally in IPM programs, being interfaced with public early warning systems, in on-site physical devices (such as, e.g., weather stations), and decision support systems (DSSs) (Rossi et al., 2012).

Despite the large number of DTs developed, and the keen interest of farmers in reducing uncertainty in pest control decisions, the access to DTs for users (farmers, advisors, policy-makers) is still fragmented and restricted to particular areas and user groups. This is because of the so-called 'problem of implementation', i.e., the "lack of sustained use in a way that influences practice" (Rossi et al., 2014). Several factors influencing the non-adoption and failure of DTs by agricultural users were identified, which can be ascribed to both technological and technical limitations and to farmers' attitude towards decision-making and DTs (Gent et al., 2011; Matthews et al., 2008). Among these factors are: profitability, user-friendly design, time requirement for DSS usage, credibility, adaptation of the DSS to the farm situation,

information update and knowledge of the user (Kerr, 2004).

If properly mobilized, these DTs could have a much greater use and impact for IPM than today. Indeed, a number of these DTs can potentially be used in climatic areas and agricultural circumstances that are much wider than their current range of use. Sharing and integrating DTs has therefore great potential for: i) providing wider access to the existing knowledge; ii) incorporating IPM solutions in existing agricultural systems; iii) supporting relevant plant health policies, in particular the implementation of the SUD. This requires efforts and synergies in a multi-actor approach that involves developers of DTs, ICT specialists, scientists, advisors, farmers, and policy makers. Sharing, however, is only possible if all the stakeholders, including public entities and private companies holding DTs, envisage benefits.

For the implementation of the SUD in Italy criteria are needed for comparing and selecting models to be usefully integrated in the Italian IPM schemes. These criteria include: model purpose, modelling approaches, biological mechanisms accounted for by the model, influencing (driving) variables, endorsement by the scientific community (peer-reviewed vs black boxes), possibility of adaptation/calibration to local conditions, validation for accuracy and robustness, evaluation of usefulness.

### Criteria for selection of DTs

**1. Purpose of the DTs.** Clear definition of the specific plant protection problem addressed by the DT is a key step. It requires an accurate analysis of the specific problem and a flow of information from expert users (e.g., technicians, consultants, growers) to modellers.

DTs should be aimed at forecasting specific characteristics of epidemics or pest phenology and abundance, particularly those crucial for crop protection. If DTs' output concerns aspects of little significance for decision-making, DT use will be of little benefit.

Examples of useful tools are: i) decision support on whether prevention (e.g., use of resistant cultivars) and/or suppression/sanitation measures are necessary (e.g., the tool predict the potential for infestation of soil or crop residue); ii) decision on whether and when it is necessary/profitable to protect the crop (e.g., prediction of infection periods, of relevant pest stages, or of relevant crop damages, including contamination by mycotoxins); iii) definition of action thresholds (e.g., attainment of pest population thresholds); iv) optimisation of pest monitoring programs in crops (e.g., prediction of the likely onset of a disease or first adults in insect traps) and in food products (e.g., private/public monitoring programs for mycotoxin contamination); v) optimum use of different PPPs (e.g., preventative vs curative fungicides, stage-dependent insecticides for insect); vi) selection of the right dose of pesticide to be used (e.g., sprays tailored to the crop); and vii) information on the duration of pesticide efficacy after application.

2. Approaches for DT development. DTs can be mathematical models, risk algorithms, decision rules, decision algorithms, thresholds, etc. allowing growers to respond in a timely and efficient manner by adjusting crop management practices. Madden et al. (2007) proposed the concept of risk algorithm as ‘any calculation that uses observations of identified risk factors from the host crop, the pathogen population and the environment to make an assessment of the need for crop protection measures’. A prediction of low disease risk, for instance, may result in reduced pesticide application with positive economic and environmental effects.

Plant disease models – an important kind of DTs - produce predictions about the epidemic or single epidemic components that can be used as risk indicators. Such models also produce predictions about plant disease epidemics that can be used for decision-making concerning plant disease management in production fields at the different spatial scales.

Mathematical models are simplified representations of reality (De Wit, 1993), and plant pest and disease models are simplifications of the relationships between harmful organisms, crops, and the environment that cause the organism to develop over time and space.

There are different models and modelling approaches used in DTs for plant pest and disease control (Zadoks, 1984; Campbell and Madden, 1990; De Wolf and Isard, 2007; Rossi et al., 2010). Initially plant disease models have been developed as simple rules, graphs, or tables, and later as descriptive tools; these models are empirical because they are based on mathematical relationships estimated using dataset collected in the field and valid within the range of data variation used for estimation of model parameters. Advances in environmental monitoring, automatic data processing, and biological research had an important role in promoting new developments and an increase in complexity of pest and disease models. However, empiricism dominated the scene for long time and most of the models available in the literature are still empirical, even though the mathematical/statistical procedures have been improved by including multivariate and non-parametric analyses, neural networks, Bayesian and stochastic modelling. Strengths and weaknesses of empirical models are summarised in Table 1.

Relevant improvements have been obtained with the mechanistic (i.e., process-based) dynamic models (Table 2). These models, following a bottom-up approach, describe mathematically how the basic bio-ecological processes influence the system dynamics under the influence of external driving variables (weather conditions, host characteristics, control measures, etc.). Accuracy and robustness (i.e., accuracy in a range of different climatic and agronomic conditions) of these models significantly increased compared to the empiric ones.

Even though empirical and mechanistic models have different approaches, many empirical models incorporate biological aspects, and mechanistic models usually have many empirical elements (Madden and Ellis, 1988).

*Tab.1 – Main strenghts and weaknesses of emprical models.*

*Tab.1 – Principali vantaggi e svantaggi dei modelli empirici.*

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
Easy to develop	Wide and representative field data are needed for model development
Complete biological knowledge not needed	No prediction is possible outside the range of input data (extrapolation)
No expertise on the organism is required	No information is provided on biological processes
	Validation and calibration is mandatory when used in new/changing agricultural contexts

*Tab.2 – Main strenghts and weaknesses of mechanistic models.*

*Tab.2 - Principali vantaggi e svantaggi dei modelli meccanicistici.*

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
Detailed knowledge on biological processes is needed	Modellers may have deep expertise on the organism
Outputs are accurate and robust	Development often requires research for filling knowledge gaps
Prediction is possible in a wide range of agricultural contexts	
High flexibility	

3. Transparency of DT algorithms. Transparency in the algorithms and model documentation are key aspects to be considered when selecting DTs. Unfortunately, it’s often difficult to gain full access to algorithms because DTs can be: i) black-boxes (i.e., content is unknown to users); ii) published in journals, with partial description (of assumptions, algorithms, initial conditions, parameterisation, etc.); iii) tweaked models with no documentation of the improvements made, which therefore remain unknown to users. Transparency and documentation are also important for model validation, calibration and adaptation (see section 4.).

Open-source and knowledge sharing are two approaches for ensuring transparency. The open-source approach implies that all the DT software is: i) released using established open source development practices; ii) licensed under a general public licence, enabling that

anyone has the right to freely read, use, improve and redistribute the source code for such software; is made available on an open repository. The “knowledge sharing” approach implies that knowledge (i.e., information, skills, or expertise) is made available and exchanged among individuals and organizations. For explicit knowledge sharing, it is necessary that: i) knowledge providers describe the information; ii) knowledge-recipients are made aware that knowledge is available; iii) knowledge recipients access the knowledge; iv) the body of knowledge is defined and access to it is guaranteed; v) a holistic approach is used for knowledge sharing.

**4. Validation and adaptation.** A DT can gain farmers’ trust through: i) validation by people the users recognise as expert and believable, ii) testimonials, and iii) extended use. Validation consists in comparison between DT output and observations in representative conditions; it requires knowledge about the DT (biological background, data used, modelling approaches, algorithms, etc.) and validation procedures. Unfortunately, procedures for validation are usually not available or not detailed. As a consequence, local experts do not adequately validate DTs so that DTs do not gain sufficient credentials.

**5. Evaluation of usefulness.** Once a DT has been validated for its ability to correctly represent the real system - e.g., it is able to predict occurrence of infection periods - the usefulness of its use in IPM programs should be verified. For that purpose, experiments should be carried out in which an IPM program based on DT’s output is compared with the common practice, and advantages are demonstrated in term of pest or disease control, use of plant protection products, crop yield and quality. Economic and environmental advantages should be also evaluated.

## Conclusions

Since 2014, IPM is mandatory across Europe, and Member States have in charge to provide farmers with the necessary knowledge, supports, data and tools. Practical adoption of IPM practices, especially the more stringent ones of advanced IPM, is growing at lower rates than expected, with large crop and geographic differences (European Commission, 2017). Complexity and constraints are among the main reasons for slow adoption of IPM by farmers. Making decision-making for crop protection easier and faster by means of DTs may increase the on-farm use of IPM practices. The practical use of IPM may increase also by demonstrating to farmers that protecting the crop only when really needed and adopting other innovative IPM practices (e.g., dose reduction through crop adapted sprays) helps in addressing some gaps (e.g., the increasing problem of pest resistance to pesticide, reduction of available active

ingredients). This also creates opportunities for reducing production costs and increasing farm competitiveness.

In the frame of implementing the SUD, there is an increasing interest by multiple stakeholders to get access to DTs, evaluate and (if needed) adapt them to local conditions, and finally use them for improving IPM programs and increasing the on-farm use of IPM techniques.

To address this need, a great improvement could derive from the development of a web platform for sharing reliable DTs for pest and disease control and for supporting decision-making in IPM in various geographical areas and agricultural contexts across Italy.

In a wider and more advanced perspective, the Platform supporting IPM should be placed in a complex environment aggregating tools and data sources for the three main components of integrated crop management: i) a component making available agro-meteorological data from different sources and networks available across Italy (Agro-Meteorological data Platform, AMP); ii) a component providing crop production models and data collected in a properly designed network of monitoring fields (Crop Production modelling Platform, CPP); iii) a component making available DTs for pests and diseases, and data on the phytosanitary status of the monitored fields (Pest and Disease modelling Platform, PDP).

The design and the development of each of the three components require multiple expertise and the support of research institutions guarantee the coordination and integration of different knowledge and experience. The functional integration between the three platforms is very important in order to provide advanced services for diverse categories of users (farmers, agronomists, advisors, and policy-makers).

The platform for the dynamic simulation of plant pests and diseases (PDP) should be developed in two parallel directions. First, it would require the collection, adaptation and standardization of the existing DTs, making them available for the Platform. The second direction, to be eventually activated at a later stage, concerns the development of new DTs. In both cases, to make the PDP usable by stakeholders, a procedure is required comprising the following steps: i) the validation of existing and newly developed DTs; ii) the implementation of the DTs in the information infrastructure and their integration with the other platforms; iii) the definition of protocols and requirements for accessing and using the PDP; iv) the generation of output and methods for communicating the results.

The PDP should be designed with the overall goal of helping farmers and related stakeholders in facing the complexity related to the implementation of IPM as envisaged by the SUD.

## References

- Campbell CL, Madden LV (1990) Introduction to plant disease epidemiology. Wiley, New York
- De Wit C.T., 1993. Philosophy and terminology. In: Leffelaar PA (ed), On system analysis and simulation of ecological processes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 3-9.
- De Wolf E.D., Isard S.A., 2007. Disease cycle approach to plant disease prediction. Annual Review of Phytopathology, 45: 91-918
- EISA, 2001. A Common Codex for Integrated Farming. Available at (last verified May 2018): [http://ec.europa.eu/environment/archives/ppps/pdf/ilubr\\_ochure.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/ppps/pdf/ilubr_ochure.pdf)
- European Commission, 2017. On Member State National Action Plans and on progress in the implementation of Directive 2009/128/EC on the sustainable use of pesticides. Available at (last verified May 2018) [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides\\_sup\\_report-overview\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_sup_report-overview_en.pdf)
- Gent D.H., De Wolf E., Pethybridge S.J., 2011. Perceptions of risk, risk aversion, and barriers to adoption of decision support systems and integrated pest management: an introduction. Phytopathology, 101: 640–643.
- Kerr D., 2004. Factors influencing the development and adoption of knowledge based decision support systems for small, owner-operated rural business. Artificial Intelligence Review, 22 (2): 127–147.
- Madden LV, Ellis MA (1988) How to develop plant disease forecasters. In: Kranz J, Rotem J (eds), Experimental techniques in plant disease epidemiology. Springer-Verlag, New York
- Madden LV, Hughes G, van den Bosch F., 2007. The study of plant disease epidemics. APS Press, St Paul (MN), 432 pp.
- Matthews K.B., Schwarz G., Buchan K., Rivington M., Miller D., 2008. Wither agricultural DSS? Computers and Electronics in Agriculture, 61: 149–159.
- McCown R.L., 2002. Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. Agricultural Systems, 74: 179–220.
- Rabbinge R., Rossing W.A.H., Van Der Werf W., 1993. Systems approaches in epidemiology and plant disease management. Netherlands Journal of Plant Pathology, 99 (3): 161–171.
- Rossi V., Giosuè S., Caffi T., 2010. Modelling plant diseases for decision making in crop protection. In: Oerke, E.C., Gerhards, R., Menz, G., Sikora, R.A. (Eds.), Precision Crop Protection - The Challenge and Use of Heterogeneity. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 241-258.
- Rossi V., Caffi T., Salinari F., 2012. Helping farmers face the increasing complexity of decision-making for crop protection. Phytopathologia Mediterranea, 51:457–479.
- Rossi V., Salinari F., Poni S., Caffi T., Bettati T., 2014. Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: the example of vite.net®. Computers and Electronics in Agriculture, 100: 88–99.
- Zadoks J.C., 1984. A quarter century of disease warning, 1958–1983. Plant Disease, 68: 352-55



# COPING WITH RISK OF DROUGHT THROUGH KNOWLEDGE AND SEASONAL FORECASTS

## AFFRONTARE IL RISCHIO DI SICCAITA' CON LA CONOSCENZA E LE PREVISIONI STAGIONALI

Massimiliano Pasqui<sup>1\*</sup>, Edmondo Di Giuseppe<sup>1</sup>, Ramona Magno<sup>2</sup> ed Elena Rapisardi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche Consiglio, Roma

<sup>2</sup> Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche Consiglio, Firenze

\* [massimiliano.pasqui@cnr.it](mailto:massimiliano.pasqui@cnr.it)

### Abstract

The Mediterranean Basin is characterized by a strong vulnerability due to centuries of natural resources exploitation and it is one of the hot-spots of the planet affected by temperature rising and rainfall distribution modifications. Climate changes and land mismanagement are exacerbating pressure on natural resources, reducing their resilience. Understanding drought and its variability can allow a shift from an approach of crisis management to a more proactive one, where responses are planned in advance in respect to the droughts occurrence and therefore are more effective and coordinated during the event. Following this idea the Institute of Biometeorology developed an empirical seasonal forecast system as a component of a climate service to increase knowledge-based information for supporting decision making activity for a wide variety of stakeholders. A series of on going operational and research applications and projects (MACSUR, SERV\_FORFIRE and MED-GOLD) for drought and forecasts will be shown both for the Italy and the Mediterranean Basin.

### Parole chiave

Cambiamento climatico, previsioni stagionali, siccità, gestione della risorsa idrica

### Keywords

Climate change, seasonal forecasts, drought, water management

### Introduzione

Il bacino del Mediterraneo è caratterizzato da una forte vulnerabilità dovuta a secoli di sfruttamento delle risorse naturali ed è uno degli Hot-Spot di cambiamento climatico del pianeta interessati prevalentemente da innalzamento della temperatura e modifiche della distribuzione delle precipitazioni (Field, 2012). I cambiamenti climatici e la cattiva gestione della terra stanno esacerbando la pressione sulle risorse naturali, riducendo la loro capacità di recupero. La siccità, cioè lunghi periodi in cui la riduzione dell'apporto precipitativo risulta significativo, rappresenta quindi un evento ad elevato impatto sia per le comunità umane che per gli ecosistemi naturali delle aree interessate. Comprendere meglio le dinamiche della siccità ed, in particolare, la sua variabilità può consentire un passaggio da un approccio di gestione delle crisi ad uno di adattamento e più proattivo, in cui le risposte sono pianificate in anticipo rispetto all'occorrenza del periodo siccitoso, divenendo quindi più efficaci e coordinate durante l'evento stesso. Seguendo questa idea, l'Istituto di Biometeorologia ha sviluppato un sistema empirico di previsioni stagionali come componente di un servizio climatico che consente di aumentare le informazioni basate sulla conoscenza e finalizzato a supportare l'attività di "decision making" per un'ampia varietà di parti interessate (Magno et al., 2012, Magno et al., 2018). Una serie di applicazioni operative ([ClimateServices](#), [Drought Observatory](#)) e progetti di ricerca attualmente in corso ([MACSUR](#), [SERV FORFIRE](#) e [MED-GOLD](#)) stanno permettendo la costruzione di informazioni salienti e robuste contribuendo al rafforzamento delle capacità di resilienza del nostro Paese e dell'area del Mediterraneo.

### Materiali e Metodi

La valutazione dello stato di siccità è affidata ad un indice specifico, ben noto e largamente utilizzato sia nelle valutazioni di monitoraggio che di previsione: lo Standardized Precipitation Index (SPI). Per il suo calcolo le serie temporali di precipitazione a lungo termine sono adattate a una distribuzione di probabilità nota e successivamente, riportate sulla scala di variabilità di una distribuzione Gaussiana a media nulla e varianza unitaria, per mezzo di un procedimento di "standardizzazione". Più specificamente, i parametri stimati della distribuzione selezionata sono utilizzati per trovare la distribuzione cumulativa della precipitazione osservata e quindi, trasformando il valore di probabilità relativo al mese ed alla scala interessata sulla distribuzione Gaussiana standard, si ottiene il valore dell'indice SPI. Pertanto, l'SPI ha una configurazione di tipo Gaussiano in cui la deviazione dalla media è una misura probabilistica della gravità di un evento umido o secco. Per il calcolo dell'indice SPI è stato utilizzato il pacchetto SPEI di R ([CRAN-SPEI](#)), scegliendo la distribuzione Pearson III ed il periodo 1961-2010 per la standardizzazione (Vicente-Serrano, 2012).

Il modello di previsione si basa su un approccio empirico per prevedere il valore dell'indice SPI alla scala trimestrale (SPI-3) e quindi utile per affrontare l'insorgere di un periodo di siccità meteorologica; questa previsione può essere costruita con alcuni mesi di anticipo a partire da una relazione multilineare con

gli indici climatici osservati su larga scala. Le previsioni di SPI-3 sono realizzate su una finestra geografica molto ampia (25°-65° N; 20° W-45° E) e con una risoluzione spaziale di 0.5°.

Questo sistema empirico di previsione stagionale adotta un approccio statistico basato su un modello di regressione multivariata (MR) per stimare le anomalie future attese [16] dove: 1) SPI-3 è la variabile dipendente, calcolato sulla base dei dati delle precipitazioni mensili del dataset del Climate Research Unit (CRU) nella sua versione TS v.4.00 (Harris, et al, 2014); 2) i predittori sono selezionati tra indici climatici di larga scala osservati sia di origine atmosferica che oceanica secondo l'elenco di seguito:

- Atlantic Multidecadal Oscillation ESRL-PSD <https://www.esrl.noaa.gov>
- Multivariate ENSO Index ESRL-PSD <https://www.esrl.noaa.gov>
- North Atlantic Oscillation CPC <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>
- Seasonally Varying NH Annular Mode HOK <http://www.bio.mie-u.ac.jp/>
- Modified Zonal Index IRI-DL <http://iridl.ldeo.columbia.edu>
- Mediterranean SST, 1st EOF, 2nd EOF CPC <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>
- Atlantic Tripole SST, 1st EOF ESRL-PSD <https://www.esrl.noaa.gov>
- Guinea Gulf SST, 1st EOF, 2nd EOF IRI-DL <http://iridl.ldeo.columbia.edu>
- Indian Ocean SST, 1st EOF, 2nd EOF IRI-DL <http://iridl.ldeo.columbia.edu>
- Eurasian Snow Cover Extent Rutgers GSL <https://climate.rutgers.edu>

Prima di essere inseriti nella matrice dei regressori, tali indici sono sottoposti ad una procedura di standardizzazione e di “de-trending”. Quest’ultima è basata su una regressione non parametrica locale e viene applicata anche alla variabile dipendente. Inoltre, per ogni predittore si considera un “lag” temporale fino a 8 mesi precedenti al tempo  $t$  di stima. Ad esempio, la matrice dei regressori del modello di previsione del SPI-3 relativo al mese di Maggio è composta dai predittori osservati nella finestra temporale da Ottobre a Febbraio precedenti.

La finestra temporale per la stima dei parametri del MR si riferisce al periodo 1974–2015. Un modello MR specifico viene stimato per ogni mese di previsione. L'intera procedura è stata eseguita in ogni cella della griglia del dominio spaziale.

## Risultati

La prestazione predittiva del miglior modello per ogni SPI-3 è valutata attraverso la significatività statistica del

miglior modello stimato per ogni punto griglia su un'area pilota centrata sulla regione Toscana.

Tab.1 – Valutazione delle performance del modello MR .

Tab.1 – Performances evaluation of MR model

Month	Evaluation			Predictive Performance	
	Signif 0.05 (%)	Signif 0.10 (%)	Range AdjR <sup>2</sup>	Range RMSE	Range SPI
Jan	52.0	71.0	(0.18 0.56)	(0.61 1.04)	(2.00 5.35)
Feb	69.0	85.0	(0.36 0.71)	(0.53 0.79)	(1.96 3.62)
Mar	87.0	94.4	(0.61 0.79)	(0.35 0.63)	(2.26 2.58)
Apr	60.2	76.2	(0.30 0.61)	(0.60 0.93)	(3.85 2.59)
May	77.5	86.0	(0.49 0.74)	(0.44 0.76)	(3.72 2.54)
Jun	63.5	81.6	(0.48 0.68)	(0.52 0.83)	(3.25 2.48)
Jul	42.0	62.4	(0.16 0.39)	(0.83 1.29)	(3.91 5.94)
Aug	68.2	82.6	(0.29 0.74)	(0.52 1.23)	(6.52 2.80)
Sep	65.5	79.4	(0.30 0.55)	(0.62 0.87)	(2.37 2.61)
Oct	70.2	83.9	(0.24 0.53)	(0.54 0.78)	(2.19 3.13)
Nov	81.7	92.4	(0.52 0.72)	(0.44 0.69)	(2.04 2.54)
Dec	60.9	77.8	(0.26 0.56)	(0.63 0.88)	(2.30 2.23)

Dai valori riportati in Tab. 1 il valore dei indici di performance è significativamente alto, fatto che attesta la robustezza dei modelli scelti. D'altra parte, l'intervallo di adjR<sup>2</sup>, che è composto dai valori minimi e massimi ottenuti in tutto il dominio spaziale, mostra criticità solo per alcuni singoli punti di griglia e in alcuni mesi; tuttavia, il gran numero di valori sopra 0,50 rivela generalmente una buona definizione del modello. Questo comportamento è più pronunciato durante la stagione invernale, quando la siccità può essere più critica. La prestazione predittiva dei modelli selezionati è di conseguenza generalmente buona (vedere i valori minimi nell'intervallo di colonne RMSE rispetto al corrispondente valori SPI osservati). Le prestazioni inferiori sono state identificate nel periodo estivo, quando eventi di siccità sono meno impattanti per le caratteristiche climatiche Mediterranee.

## Discussione e Conclusioni

Il cambiamento climatico già in atto ed atteso nei prossimi decenni rappresenta una sfida particolarmente impegnativa per le varie comunità ed un territorio vulnerabile come quello dell'Italia e del Mediterraneo in particolare. Inoltre il cambiamento climatico contribuirà a ridurre le risorse a disposizione, in particolare quella idrica, riducendo le opzioni di adattamento e aumentando il rischio di difficili situazioni di emergenza con un elevato livello di conflittualità tra utilizzatori di acqua. Per l'agricoltura questa situazione sarà particolarmente critica (Dono et al., 2016). Eventi prolungati di siccità, sia invernale che autunnale potrebbero divenire non solo più frequenti, ma anche più impattanti su molti settori produttivi del bacino del Mediterraneo. La conoscenza dei processi di innesco e propagazione dei periodi di siccità e dei loro impatti in agricoltura risulta quindi chiave per affrontare il cambiamento climatico e impostare la sfida del adattamento dei sistemi produttivi (Dono et al., 2013, Dono et al., 2016). Uno strumento di previsione stagionale, come quello descritto in questo lavoro, potrà così aiutare i molti processi decisionali di gestione della risorsa idrica fornendo ulteriori e possibili opzioni di adattamento al cambiamento climatico.

## Bibliografia

- Dono, G., Cortignani R., Doro L., Giraldo L., Ledda L., Pasqui M. and Roggero P.P., (2013). An integrated assessment of the impacts of changing climate variability on agricultural productivity and profitability in an irrigated mediterranean catchment. *Water resources management*, 27 (10), 3607–3622. doi: 10.1007/s11269-013-0367-3
- Dono, G., Cortignani, R., Dell'Unto, D., Deligios, P., Doro, L., Lacetera, N., Mula L., Pasqui M., Quaresima S., Vitali A., Roggero, P. P. (2016). Winners and losers from climate change in agriculture: Insights from a case study in the Mediterranean basin. *Agricultural Systems*, 147, 65-75, doi:10.1016/j.agry.2016.05.013
- Field, C.B. 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: Cambridge, UK.
- Harris, I.; Jones, P.D.; Osborn, T.J.; Lister, D.H., 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 34, 623–642.
- Magno, R.; Angeli, L.; Chiesi, M.; Pasqui, M., 2014. Prototype of a drought monitoring and forecasting system for the Tuscany region. *Adv. Sci. Res.*, 11, 7–10.
- Magno, R.; De Filippis, T.; Di Giuseppe, E.; Pasqui, M.; Rocchi, L.; Gozzini, B., 2018. Semi-Automatic Operational Service for Drought Monitoring and Forecasting in the Tuscany Region. *Geosciences*, 8, 49.
- Vicente-Serrano, S.M.; Begueria, S.; Lorenzo-Lacruz, J.; Camarero, J.J.; López-Moreno, J.I.; Azorin-Molina, C.; Revuelto, J.; Morán-Tejeda, E.; Sanchez-Lorenzo, 2012. A Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interact.*, 16, 1–27.

# THE “DIMOSFRU” MODEL TO EVALUATE THE DEVELOPMENT OF THE SPOTTED WING DROSOPHILA (*DROSOPHILA SUZUKII*)

## IL MODELLO “DIMOSFRU” PER VALUTARE LO SVILUPPO DEL MOSCERINO DEI PICCOLI FRUTTI (*DROSOPHILA SUZUKII*)

Luigi Perini<sup>1,\*</sup>, Massimo Scaglione<sup>1,2</sup>, Elisabetta Raparelli<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria - Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente (CREA-AA), Roma.

<sup>2</sup> Università della Tuscia - Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE), Viterbo.

\* [luigi.perini@crea.gov.it](mailto:luigi.perini@crea.gov.it)

### Abstract

The *Drosophila suzukii* or Spotted Wing Drosophila (SWD) is a recently introduced pest in Italy. Highly prolific, very adaptable to several environmental conditions and without natural antagonists, the SWD has quickly spread throughout Italy determining significant damages to soft-skinned fruits and to many others products. In order to prevent and combat the SWD, it would be important to have early monitoring tools in order to support an efficient pest control. Within the Project DIMOSFRU it was developed a semi-mechanistic model based on temperature and photoperiod data. The model provides information on the progress of the life cycle of the SWD and on the number of its generations during the growing season. A preliminary version of the model was tested in 2017, for two fruit growing areas in the Latium region: Moricone and Colonna. The first results encourage for a possible next operational use.

### Parole chiave

*Drosophila suzukii*; SWD; specie invasive; piccoli frutti; modello.

### Keywords

*Drosophila suzukii*; SWD; invasive species; soft-skinned fruits; model.

### Introduzione

A seguito dell'emergenza fitosanitaria determinatasi nella regione Lazio a causa della *Drosophila suzukii*, nel 2017 è stato indetto il Progetto Pilota DIMOSFRU<sup>1</sup>, nell'ambito del quale è stato realizzato un modello per simulare lo sviluppo e la dinamica di popolazione del parassita, anche detto Moscerino dei piccoli frutti o Spotted Wing Drosophila (SWD). La SWD appartiene alla famiglia dei *Drosophilidae* a cui sono ascritte oltre 1500 diverse altre specie (Markow and O'Grady, 2006). I suoi avvistamenti sono stati documentati per la prima volta nel 1916 in Giappone, sua probabile zona d'origine (Kanzawa, 1936) ma, oggi, essa è diffusa globalmente rappresentando una seria minaccia per la frutticoltura a scala mondiale (Walsh et al., 2011). Quasi in concomitanza con le prime catture avvenute in Europa, nel 2009 anche in Italia si sono avuti i primi riscontri della SWD che, allo stato attuale, risulta ormai endemicamente presente su tutto il territorio nazionale (Grassi et al., 2011). Le perdite di produzione attribuibili alla SWD si sono rivelate fin da subito molto cospicue (Wiman et al., 2016; Anfora et al., 2017) grazie alla polifagia, alla prolificità e alla capacità di adattamento del parassita. Nei territori di recente colonizzazione, come nel caso del nostro Paese, il successo biologico della SWD

può essere attribuito, oltre che a condizioni ambientali alquanto favorevoli, all'assenza di antagonisti naturali in grado di tenerne sotto controllo la crescita demografica, nonché alla mancanza di collaudate strategie di difesa (Ioratti et al., 2012; Griffo et al., 2012). Tutti questi aspetti consentono alla SWD di prosperare nei nostri ambienti potendo oltretutto avvalersi di un'ampia scelta di piante ospiti, sia coltivate che spontanee, per alimentarsi e riprodursi. La SWD attacca preferibilmente i frutti con buccia sottile e polpa tenera, come i cosiddetti “piccoli frutti” (mirtillo, mora, lampone, fragola), ma non disdegna le specie fruttifere arboree (ciliegio, pesco, albicocco, melo, fico, kaki, vite e, finanche, olivo) più rilevanti in termini di superficie coltivata ed entità economica della produzione (Beselli et al., 2012; Cini et al., 2012). La SWD può tuttavia avvalersi anche di specie spontanee come, rovo, sambuco, gelso, caprifoglio, viburno, edera, ecc. (CABI website) che, abbondantemente presenti nel paesaggio rurale italiano, possono fornire anche adeguati ricoveri di svernamento (Walsh et al., 2011). Nella messa a punto del modello, l'obiettivo prioritario è stato quello di realizzare uno strumento in grado di quantificare con congrua affidabilità la dinamica di popolazione della SWD, ovvero stimarne il livello di infestazione a scala territoriale per consentire una difesa antiparassitaria basata sui criteri di razionalità ed efficacia della lotta guidata (Pucci and Zapparoli, 1993; Di Silvestro et al. 2014; Viggiani, 1997).

<sup>1</sup> “Sviluppo e trasferimento di sistemi di difesa integrati per il controllo sostenibile della *Drosophila suzukii* e della Mosca mediterranea della frutta (*Ceratitis capitata*)” a cui hanno partecipato il CREA, l'ARSIAL, l'ENEA, il CAR, l'ITAS “Giuseppe Garibaldi” ed alcune organizzazioni locali di coltivatori.

### Materiali e Metodi

La SWD, benché dimostri un'elevata valenza ecologica (eurecia), rimane pur sempre un organismo strettamente dipendente dalla temperatura ambientale (pecilotermia) e

dal fotoperiodo (Tochen et al., 2014). Ogni stadio del suo ciclo di sviluppo, dall'uovo all'adulto, si evolve correttamente se avviene entro specifici *range* di temperatura, al di là dei quali i suoi processi fisiologici rallentano progressivamente fino ad arrestarsi del tutto (Dos Santos et al., 2017). Il modello DIMOSFRU è basato su uno schema semplificato del ciclo vitale della SWD, in cui lo sviluppo e la sequenza delle varie fasi avvengono in funzione del fotoperiodo e della temperatura ambiente. La versione prototipale del modello è stata implementata su foglio elettronico. La simulazione parte convenzionalmente dal primo Gennaio e procede attraverso una sequenza di passaggi guidata dal fotoperiodo e dalla temperatura (Fig.1).

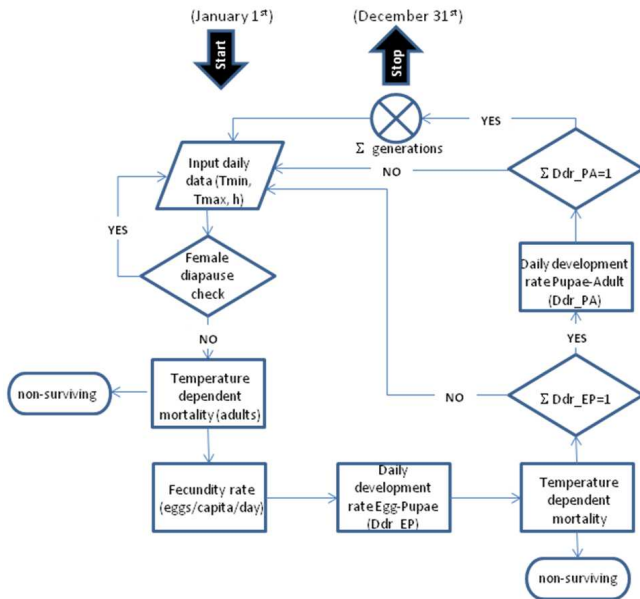


Fig.1 - Schema del modello di sviluppo di *Drosophila suzukii* messo a punto nell'ambito del Progetto DIMOSFRU.

Fig.1- Development model flow-chart for *Drosophila suzukii* elaborated within the Project DIMOSFRU.

1. Acquisizione in input dei valori giornalieri di temperatura minima (Tmin), temperatura massima (Tmax) e del numero di ore di fotoperiodo (h) previamente calcolato in funzione della latitudine del sito.
2. Calcolo della temperatura media giornaliera (Tmed).
3. Verifica dello stato di diapausa sessuale delle femmine in funzione del numero di ore del fotoperiodo. Se lo stadio di diapausa permane il modello torna al punto 1. Se il numero di ore del fotoperiodo consentono il superamento della diapausa invernale, il modello passa al punto successivo.
4. Calcolo del tasso di mortalità delle femmine adulte indotto dalla temperatura (Tmax/Tmed/Tmin). L'aliquota di femmine adulte sopravvissute diviene input per il punto successivo.
5. Calcolo del tasso di fecondità. Si passa al punto successivo.

6. Calcolo del tasso giornaliero di sviluppo in pupa degli stadi giovanili (uovo-larva) in base alla temperatura (Tmed). Al completamento della routine si passa al punto successivo.
7. Calcolo del tasso di mortalità delle pupe indotto dalla temperatura (Tmax/Tmin). Si passa al punto successivo con l'aliquota di pupe sopravvissute.
8. Calcolo del tasso di sviluppo giornaliero da pupa ad adulto in base alla temperatura (Tmed).
9. Se non si raggiunge il completamento della fase (trasformazione in forma adulta) il modello torna al punto 1 per acquisire i dati in input del giorno successivo. Se si raggiunge invece il completamento della fase si passa al punto successivo.
10. Conteggio delle generazioni. Si torna al punto 1 e il ciclo continua terminando convenzionalmente il 31 dicembre.

Il calcolo delle ore di luce (h) per verificare lo stato di diapausa riproduttiva delle femmine di SWD, è stato ottenuto tramite un algoritmo astronomico ed è funzione della latitudine del posto (Sigismondi, 2003):

$$h = 12 + \frac{2}{15} \arcsin(\tan \lambda \cdot \tan(23.5 \cdot \sin(30^\circ \cdot (t - 2.69))))$$

L'aliquota di femmine che risultano aver superato la diapausa riproduttiva ( $f_D$ ) invernale è ottenuta attraverso la seguente formula in cui (h) rappresenta il numero di ore di luce, (A), (K), (v), (Q) e (B) sono parametri adimensionali uguali rispettivamente a 0,04; 99,8; 0,813;  $3,23 \cdot 10^{-16}$ ;  $2,87 \cdot h$  (Langille et al., 2016):

$$f_D = \pi - \left( A + \frac{K - A}{(1 + Q_e^{Bh})^v} \right) \times 100^{-1}$$

Affinché la diapausa si possa considerare superata si suppongono temperature medie giornaliere di almeno 18°C (Kimura, 1990). Il tasso di fertilità complessivo ( $f_{DT}$ ) terrà conto dell'aliquota di femmine non in Diapausa ( $f_D$ ) e del numero di uova procapite giornaliero ( $f_T$ ):

$$f_T = \alpha \left[ \frac{\gamma + 1}{\pi \lambda^{2\gamma + 2}} (\lambda^2 - ([T - \tau]^2 + \delta^2))^\gamma \right]$$

$$f_{DT} = f_D f_T$$

con la temperatura T compresa fra un valore massimo di 30°C e un valore minimo di 10°C,  $\alpha=676$ ;  $\gamma=88,38$ ;  $\pi=3,14$ ;  $\lambda=52,32$ ;  $\tau=23,26$  (Langille et al., 2016). Il tasso complessivo di sviluppo delle fasi giovanili (dall'uovo, alla pupa) è simulato nel modello attraverso una funzione polinomiale di quarto grado (Fig. 2) derivata dagli effetti esercitati dalla temperatura ambiente su queste fasi del ciclo vitale della SWD (Ryan et al., 2016).

$$J_D = -0,00000698T^4 + 0,0004655T^3 - 0,0109T^2 + 0,1156T - 0,4349$$

I tassi di sviluppo giornalieri sono di volta in volta corretti in base al tasso di mortalità ( $\mu_i$ ) correlato alle stesse temperature:

$$\mu_i = \sum_{j=0}^3 \beta_{ij} (T - \tau)^j$$

dove  $i$  indica lo stadio del ciclo vitale;  $j$  varia da 0 a 3 a rappresentare l'effetto lineare, quadratico e cubico della temperatura;  $\beta_{i,1} = -0.008$ ,  $\beta_{i,2} = 0.00032$ ,  $\beta_{i,3} = -0.000002$ ;  $\tau = 8.178$ ;  $T_{min\tau} \leq T \leq T_{max\tau}$  con  $T_{min\tau} = 3^\circ\text{C}$  e  $T_{max\tau} = 33^\circ\text{C}$  (Emiljanowicz et al., 2014).

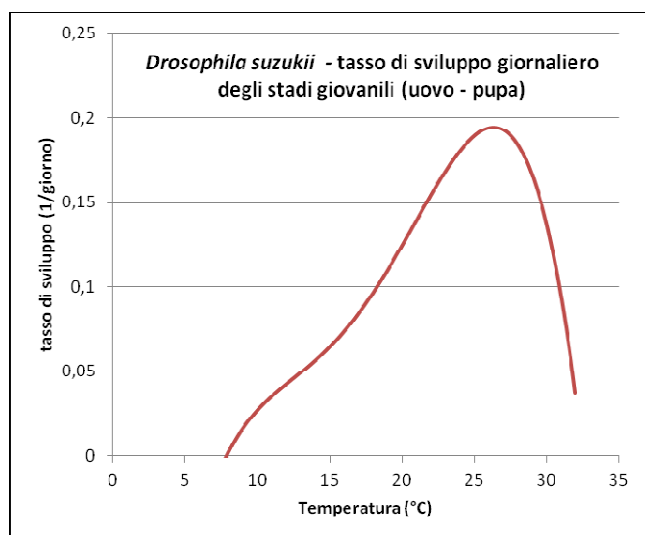


Fig.2 - Tasso di sviluppo giovanile (uovo-pupa) della *Drosophila suzukii* in funzione della temperatura.

Fig.2 - Temperature dependent development rate of juvenile stages (egg to pupae) for *Drosophila suzukii*.

Al fine di effettuare le necessarie verifiche di funzionalità, questa prima versione del modello DIMOSFRU è stata utilizzata per monitorare la dinamica di popolazione della SWD nelle predeterminate aree studio del Progetto (Colonna e Moricone). Sono stati pertanto collezionati i dati giornalieri di temperatura minima ( $T_{min}$ ), massima ( $T_{max}$ ) e media ( $T_{med}$ ) relativi alle due aree relativamente all'anno 2017 e all'anno medio climatico di riferimento. Nel primo caso, per prossimità e affinità territoriali ai siti, la scelta è caduta sulle stazioni meteorologiche "Zagarolo" e "Montelibretti" appartenenti alla rete di monitoraggio dell'ARSIAL<sup>2</sup>. Per quanto invece riguarda l'anno climatico di riferimento, avendo la necessità di operare i confronti utilizzando valori medi di lunghe, omogenee e rappresentative serie storiche (Esposito et al., 2015), i dati climatici delle temperature giornaliere ( $T_{max}$ ,  $T_{min}$  e  $T_{med}$ ) sono stati ottenuti calcolando le medie delle temperature del trentennio 1981-2010 relativi a un sottoinsieme di nodi della Griglia Italia<sup>3</sup> a 10 Km pertinenti

a ciascuna area studio e desunti dagli archivi del SIAN/MiPAAF (Tab.1).

Tab.1 - Nodi della griglia Italia (10 x 10 km) utilizzati per stimare il clima di riferimento per le aree studio.

Tab.1 - Grid points (10 x 10 km) to define the reference climate for the study areas.

	Codice nodo	Provincia	Comune	Lat	Long	Quota (m)
Area "Montetotondo"	11357	RM	ROMA	42,00000	12,53733	79
	11358	RM	SANT'ANGELO ROMANO	42,00000	12,67467	166
	11359	RM	TIVOLI	42,00000	12,81867	436
	11392	RM	CASTELNUOVO DI PORTO	42,10000	12,53733	118
	11393	RM	PALOMBARA SABINA	42,10000	12,67467	204
	11394	RM	PALOMBARA SABINA	42,10000	12,81867	477
	11418	RM	SANT'ORESTE	42,20000	12,53733	144
	11419	RI	FARA IN SABINA	42,20000	12,67467	283
11420	RI	SCANDRIGLIA	42,20000	12,81867	564	
Area "Colonna"	11324	RM	ROMA	41,90000	12,66667	191
	11325	RM	SAN GREGORIO DA SASSOLA	41,90000	12,81667	374
	11326	RM	PISONIANO	41,90000	12,95000	518
	11291	RM	GROTTAFERRATA	41,80000	12,66667	231
	11292	RM	PALESTRINA	41,80000	12,81667	386
	11293	RM	GENAZZANO	41,80000	12,95000	429
	11260	RM	GENZANO DI ROMA	41,70000	12,66667	224
	11261	RM	LARIANO	41,70000	12,81667	316
11262	RM	COLLEFERRO	41,70000	12,95000	390	

## Risultati e Discussione

Il modello DIMOSFRU, sviluppato sulla base delle conoscenze disponibili in letteratura, è stato concepito per fornire indicazioni sulle dinamiche di popolazione della SWD in funzione delle risposte meccanicistiche alla temperatura ambiente e al fotoperiodo (Ryan et al., 2016, Emiljanowicz et al., 2014; Asplen et al., 2015; Kinjo and Kunimi, 2014). In particolare, valori di temperatura al di sotto, o al di sopra, delle soglie di sviluppo ottimale, contraggono in proporzione la crescita demografica di SWD perché, in questo caso, il tasso di fecondità risulterà più basso, aumenterà la mortalità per cause intrinseche, il ciclo vitale risulterà più prolungato e si avrà di conseguenza un minor numero di generazioni (Langille et al., 2016). Il modello, inoltre, fornisce informazioni sull'inizio e sulla durata del periodo dell'anno in cui la SWD è attiva come parassita, in quanto tiene conto degli effetti ambientali sulla diapausa riproduttiva (Langille et al., 2016; Kimura, 1990). Pertanto, assumendo ormai associata la presenza della SWD nei nostri ambienti e non limitante la disponibilità di piante ospiti per alimentarsi e riprodursi, lo sviluppo demografico della SWD dipenderà in massima parte proprio dalle condizioni ambientali. In tal senso, i risultati del modello DIMOSFRU possono essere interpretati come una sorta di "indice di infestazione potenziale" definito dal numero di cicli vitali portati a compimento in sequenza lineare. Una prima verifica della funzionalità del modello DIMOSFRU è stata effettuata sulle aree studio del Progetto. Per le verifiche di sensitività e gli opportuni confronti, sono stati utilizzati come input del modello i dati di temperatura del 2017 e quelli dell'anno medio climatico (Fig.3).

<sup>2</sup> <http://www.arsial.it/portalearsial/agrometeo/C2.asp>

<sup>3</sup> <http://www.reterurale.it/agroclima>



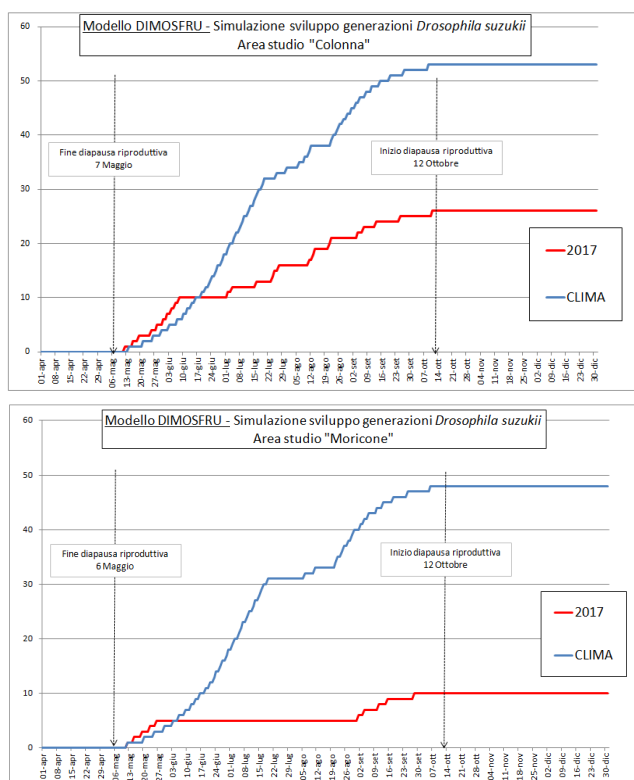


Fig.3 - Stima dello sviluppo di *D. suzukii* ottenuta con il modello DIMOSFRU.

Fig.3 - Evaluation of *D. suzukii* population growth obtained through DIMOSFRU model.

In entrambi i siti, lo sviluppo della SWD ha risentito negativamente dell'anomalo andamento termico registratosi nel 2017 che è stato caratterizzato, in particolare, da temperature eccezionalmente elevate nel corso dei mesi estivi. Rispetto al decorso climatico di riferimento, le temperature del mese di Maggio 2017 hanno inizialmente favorito la SWD marcando più rapidi e numerosi cicli di sviluppo in entrambe le aree studio. Il carico di infestazione complessivo del 2017, sempre in raffronto al clima di riferimento, risulta però essersi ridotto di circa il 50% nell'area di Colonna e quasi dell'80% nell'area di Moricone dove, in particolare, il modello ha evidenziato una stasi di sviluppo pressoché completa fra la fine di Maggio ed i primi di Settembre. Per quanto riguarda la diapausa riproduttiva, il superamento dell'infertilità invernale sarebbe stato conseguito, almeno per il 98% della popolazione di SWD, intorno al 6-7 Maggio, mentre il ritorno in diapausa sarebbe databile al 12 Ottobre. Al fine di analizzare ulteriormente la sensitività del modello, sono state inoltre effettuate simulazioni con il modello per alcuni anni del passato (dal 2009 al 2016) ottenendo anche in questo caso risultati coerenti con i rispettivi andamenti meteorologici. Al momento, purtroppo, non è stato ancora possibile avviare un confronto fra le dinamiche di popolazione derivate dal modello e l'effettiva presenza della SWD in campo (dati di cattura e/o di produzione delle specie fruttifere interessate), stante un'oggettiva difficoltà a

reperire informazioni sito-specifiche, attendibili e continuative.

## Conclusioni

La *D. suzukii* (SWD) è un parassita relativamente nuovo in Italia, così come in Europa e in molte altre parti del Mondo. Ciononostante, sono numerosi gli studi che mirano ad approfondire le conoscenze sul suo conto al fine di meglio definirne l'impatto sulle produzioni frutticole e per individuare le strategie di difesa più efficaci (Goodhue et al., 2011; Bolda et al., 2010). In considerazione dell'entità del danno prodotto e di come esso venga repentinamente inferto (Walsh et al., 2011; Kanzawa, 1939), la difesa fitosanitaria potrebbe avvantaggiarsi di strumenti, proprio come il modello DIMOSFRU, in grado di "guidare" gli interventi di difesa in ragione del carico di infestazione presente (Beers et al., 2011; Dreves 2011; Bruck et al., 2011). Ciò appare essenziale per tutelare la salute dei consumatori e limitare i costi della difesa fitosanitaria, sia in termini finanziari che ambientali, nella fondata consapevolezza che il rischio fitosanitario associato alla SWD, pur confermandosi una minaccia diffusa e persistente, varia da luogo a luogo, segue le fluttuazioni meteorologiche locali e stagionali, può ulteriormente variare in funzione dei cambiamenti climatici a medio e lungo termine (Langille et al., 2017). I risultati del modello DIMOSFRU applicato alle aree studio del Progetto appaiono in tal senso incoraggianti. Riteniamo tuttavia di dover ancora approfondire il ruolo di altre variabili nel ciclo di sviluppo della SWD e, quindi, di implementare ulteriormente il modello in prospettiva di una sua futura utilizzazione operativa.

## Bibliografia

- Anfora G., Rota Stabelli O., Tait G., Gottardello A., Grassi A., Ioriatti C., Rossi Stacconi M.V., Pugliese A., 2017. *Drosophila suzukii*, una specie aliena dannosa alle colture di piccoli frutti in trentino: ricerche in corso e linee guida per il controllo. Report progetto LEXEM. [www.fmach.it/content/download/140413/.../Booklet+Drosophila+Lexem\\_FINAL.pdf](http://www.fmach.it/content/download/140413/.../Booklet+Drosophila+Lexem_FINAL.pdf)
- Asplen, M.K., Anfora G., Biondi A., Choi D.-S., Chu D., Daane K.M., Gibert P., Gutierrez A.P., Hoelmer K.A., Hutchison W.D., Isaacs R., Jiang Z.-L., Kárpáti Z., Kimura M.T., Pascual M., Philips C.R., Plantamp C., Ponti Luigi, Véték G., Vogt H., Walton V.M., Yu Y., Zappalà L., and Desneux N., 2015. Invasion biology of Spotted Wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): a global perspective and future priorities. *Journal of Pest Science* 88: 469-494.
- Beers, E.H., Van Steenwyk, R.A., Shearer, P.W., Coates, W.W., Grant, J.A., 2011. Developing *Drosophila suzukii* management programs for sweet cherry in the western United States. *Pest Manag. Sci.* 67 (11), 1386–1395.
- Bolda, M.P., Goodhue, R.E., Zalom, F.G., 2010. Spotted Wing *Drosophila*: Potential Economic Impact of a Newly Established Pest, 13(3). *Agricultural Resource*

- Economics. Update. University of California Giannini Foundation of Agricultural Economics, pp. 5–8.
- Boselli M., Tiso R., Nannini R., Bortolotti P., Caruso S., Dradi D., 2012 Monitoraggio di *Drosophila suzukii* in Emilia Romagna. Atti Giornate fitopatologiche, 1:429-432.
- Bruck, D.J., Bolda, M., Tanigoshi, L., Klick, J., Kleiber, J., DeFrancesco, J., Gerdeman, B., Spitler, H., 2011. Laboratory and field comparisons of insecticides to reduce infestation of *Drosophila suzukii* in berry crops. *Pest Manag. Sci.* 67 (11), 1375–1385.
- CABI - Invasive Species Compendium <https://www.cabi.org/isc/datasheet/109283>
- Cini A., Ioratti C., Anfora G., 2012. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology* 65 (1): 149-160.
- Di Silvestro S., Strano M.C., Russo G., 2014. Lotta integrata contro gli insetti dannosi è obbligatoria ed è un'opportunità. *Frutticoltura* n. 3:50-52
- Dos Santos L. A., Mendes M. F., Krüger A. P., Blauth M. L., Gottschalk M. S., Garcia F.R.M., 2017. Distribuzione potenziale globale di *Drosophila suzukii*. *PLoS One* 12 (3)
- Dreves, A.J., 2011. IPM program development for an invasive pest: coordination, outreach and evaluation. *Pest Manag. Sci.* 67 (11), 1403–1410.
- Emiljanowicz, L.M., Ryan, G.D., Langille, A., Newman, J., 2014. Development, reproductive output and population growth of the fruit fly pest *Drosophila suzukii* on artificial diet. *Journal of Economic Entomology* 107 (4):1392–1398.
- 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 applicata all'agricoltura, Roma, pp. 264.
- Goodhue, R.E., Bolda, M., Farnsworth, D., Williams, J.C., Zalom, F.G., 2011. Spotted wing drosophila infestation of California strawberries and raspberries: economic analysis of potential revenue losses and control costs. *Pest Manag. Sci.* 67 (11), 1396–1402.
- Grassi A., Palmieri L., Giongo L., 2011. *Drosophila suzukii* new pest of small fruit crops in Trentino. *Integrated Plant Protection in Soft Fruits IOBC/wprs Bulletin* 70:121-128.
- Griffo R., Frontuto A., Cesaroni C., Desantis M., 2012. L'insetto *Drosophila suzukii* sempre più presente in Italia. *L'Informatore Agrario*, 68 (9): 56-60.
- Kanzawa, T. 1939. Studies on *Drosophila suzukii*. *Mats. Kofu. Rev. Appl. Entomol.* 29: 622.
- Kanzawa, T., 1936. Studies on *Drosophila suzukii*. *Mats. Journal of Plant Protection (Tokyo)* 23: 66–70.
- Kimura, M.T., 1990. Quantitative response to photoperiod during reproductive diapause in the *Drosophila auraria* species-complex. *J. Insect Physiol* 36 (3):147–152.
- Kinjo H., Kunimi Y., 2014. Effects of temperature on the reproduction and development of *Drosophila suzukii*. *Appl. Entomol. Zool.* 49: 297–304.
- Ioriatti C., Frontuto A., Grassi A., Anfora G., Simoni S., 2012. *Drosophila suzukii*, una nuova specie invasiva dannosa alle colture di piccoli frutti. In: *I Georgofili. Quaderni 2011-VIII - Criticità e prospettive delle emergenze fitosanitarie*, Firenze, pp. 126.
- Langille AB, Arteca EM, Newman JA., 2017. The impacts of climate change on the abundance and distribution of the Spotted Wing *Drosophila* in the United States and Canada. Xu J, ed. *PeerJ.* 2017;5:e3192. doi:10.7717/peerj.3192.
- Langille A.B., Arteca E.M., Ryan G.D., Emiljanowicz L. M., Newman J.A., 2016. North American invasion of Spotted-Wing *Drosophila*: A mechanistic model of population dynamics. *Ecological Modelling* 336: 70–81.
- Nicolis A., 2014. *Drosophila suzukii*: monitoraggio e strategie di lotta integrata su ciliegio nel veronese. [http://tesi.cab.unipd.it/45897/1/Nicolis\\_Andrea.pdf](http://tesi.cab.unipd.it/45897/1/Nicolis_Andrea.pdf)
- Pucci C., Zapparoli M., 1993. Prospettive di lotta biologica, guidata ed integrata contro gli insetti dannosi nelle colture agrarie dell'alto Lazio. *Bollettino di Studi e Ricerche, Biblioteca Comunale di Bolsena, Anno VIII*: 59-66
- Ryan G.D., Emiljanowicz L. M., Wilkinson F., Kornya M., Newman J.A., 2016. Thermal Tolerances of the Spotted-Wing *Drosophila suzukii*. *Journal of Economic Entomology* 109 (2): 746-752.
- Sigismondi C., 2003. Gerberto e la Geografia Tolemaica. *Geografia* 103-104: 70-75.
- Tochen S., Dalton D. T., Wiman N., Hamm C., Shearer P.W., Walton, V.M., 2014. Temperature-Related Development and Population Parameters for *Drosophila suzukii* on Cherry and Blueberry. *Environmental Entomology* 43(2):501-510.
- Walsh D.B., Bolda M.P., Goodhue R.E., Dreves A.J., Lee J., Bruck D.J., Walton V.M., O'Neal S.D., Zalom F.G., 2011. *Drosophila suzukii*: invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. *J. Integ. Pest Manag.* 2: G1–G7.



# CLIMATE ANALYSIS FOR MODERN GEORGIAN VITICULTURE

## ANALISI CLIMATICA PER UNA MODERNA VITICOLTURA IN GEORGIA

Cola G.<sup>1\*</sup>, Mariani L.<sup>2</sup>, Maghradze D.<sup>3,4</sup>, Brancadoro L.<sup>1</sup>, Failla O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Agricultural and Environmental Sciences - Production, Landscape, Agroenergy, Università degli Studi di Milano

<sup>2</sup> Lombard Museum of History of Agriculture

<sup>3</sup> Faculty of Agrarian Sciences and Biosystems Engineering, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

<sup>4</sup> National Wine Agency of Georgia, Tbilisi, Georgia

\*[gab.col@gmail.com](mailto:gab.col@gmail.com)

### Abstract

A bilingual (English – Georgian) handbook for modern viticulture was conceived and realized in the context of the “Research Project for the Study of Georgian Grapes and Wine Culture” promoted by the National Wine Agency of the Republic of Georgia. The handbook comprises a general analysis of Georgian climate and agrometeorological features, followed by detailed regional cards. Finally, concise guidelines for a modern viticultural model are provided. In this work we present the agrometeorological analysis of Georgia, based on daily data collected by national and international networks for the period 1974-2013. Several agrometeorological indexes have been calculated in order to define resources and limitations for viticulture for each viticultural region of Georgia, providing fundamental information for grape-growing and wine-making.

### Keywords

Climate, viticulture, Georgia, agrometeorological analysis

### Parole chiave

Clima, viticoltura, Georgia, Analisi agrometeorologica

### Introduction

Based on very recent evidences, Georgia is currently considered the cradle of World viticulture (McGovern et al., 2017), being the core of the first domestication of grapevine (*Vitis vinifera* L.) from its wild ancestor *Vitis vinifera ssp. silvestris* (Zohary and Hopf 2000). The great number of Georgian varieties (more than 500 - Ketskhoveli et al., 1960), covering the 95 % of the vineyards, yields quality wines, highly rated by tasting panels over the world (Maghradze et al. 2012a). This genetic richness is an interesting source of biodiversity and a tool for the resilience of viticulture to face climate and environmental changes (Maghradze et al. 2012b; Failla 2015).

In the current viticultural context, the update of the traditional viticultural models defined many decades ago is necessary to face the evolving requests of the global market, taking into account the current climatic phase of Georgia. For this reason, the first step for the development of new viticultural models was the agrometeorological analysis of wine regions in Georgia, defining resources and limitation for grape growing.

### Materials and Methods

This work is based on daily data of precipitation and maximum and minimum temperature for Georgia and neighbour countries, collected by 273 weather stations from:

Georgian National Environmental Agency – Department of Hydrometeorology, ECA&D (the European Climate Assessment & Dataset project), US NOAA (Global Surface Summary Of the Day by). The final dataset covers the period 1974-2013.

In order to check the possible relation between the European climate change of the '80s (Mariani et al., 2012) and the behaviour of air temperatures in Georgia, a change point analysis, performed with the Bai and Perron method (1998), was applied to the yearly mean temperature of the whole set of Georgian stations for the period 1974-2013. The analysis highlights 1994 as the beginning of a warmer phase for Georgian climate (+1.4°C).

For this reason the agrometeorological/viticultural characterization of Georgia was based on the analysis of data over two periods: 1) 1994-2013 - defining the current climatic phase, was adopted for the characterization of climate, thermal indexes and phenology

2) 1974-2013 – this longer period was adopted for the computation of the extreme events indexes and for water balance elaborations.

Hence, daily fields of temperature and precipitation (with a spatial resolution of 0.01666 degrees) were obtained by means of suitable geostatistical algorithms covering the whole period 1974-2013, providing the data layers for agrometeorological elaboration.

Hence, for each wine region, the agrometeorological characterization included:

**1) Köppen – Geiger classification** - one of the most widely used systems for classifying the world climates, based on the annual and monthly averages of temperature and precipitation (Köppen, 1936, Geiger, 1954) In Georgia the following types are present: ET, Dfa, Dfb, Dfc, Cfa, Cfb, Cfc and Bsk.

**2) Bagnouls Gaussens Diagram** - based on average monthly data of precipitation, mean temperature and absolute minimum temperature referred to the 1974-2013



# CLIMATOLOGY OF MICRO-METEOROLOGICAL PARAMETERS ON ITALIAN VINEYARDS

## CLIMATOLOGIA DI PARAMETRI MICRO-METEOROLOGICI IN VIGNETI ITALIANI

Valentina Andreoli<sup>1</sup>, Cristiano Barbesino<sup>1</sup>, Claudio Cassardo<sup>1\*</sup>, Silvia Ferrarese<sup>1</sup>, Mario Lecca<sup>1</sup>, Federico Spanna<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Torino – Dipartimento di Fisica, via Giuria 1, 10125, Torino

<sup>2</sup> Settore Fitosanitario – Regione Piemonte, via Livorno 60, 10144, Torino

\*[claudio.cassardo@unito.it](mailto:claudio.cassardo@unito.it)

### Abstract

Long term simulations have been performed using the land surface model UTOPIA (University of TORino model of land Process Interaction with Atmosphere), in order to evaluate the physical and hydrological processes occurring on a specific subset of land use, the vineyards, over the Italian territory. The global gridded database GLDAS2.0 (Global Land Data Assimilation System, version 2.0), which includes data in the period 1948-2010 with a grid size of 0.25° in latitude and longitude, has been employed to carry out the simulations over a period of climatic interest (30-60 years). The simulations have been performed in different regions of Italy, each one characterized by different weather and pedo-climatic conditions, where viticulture has a specific economic importance.

The simulations results can be examined to perform climatic statistics and assess possible trends in some parameters, to be potentially correlated in future analyses with vine conditions.

### Keywords

micro-meteorology, climatology, simulations, land-surface

### Parole chiave

micro-meteorologia, climatologia, simulazioni, land-surface

### Introduction

Climate and meteorology strongly influence agriculture production, therefore the analysis of environmental variables can constitute an interesting object in order to characterize the crop growth processes.

Numerical models represents useful tools to estimate environmental conditions in specific sites, in particular models including soil-vegetation-atmosphere transfer processes.

These kind of models, named generically land-surface models, or also SVATs (Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer schemes), are able to estimate micro-meteorological conditions by means of simulations of hydro-energetic and gas exchange processes in the layer between atmosphere, soil and vegetation. Starting from the simplest models, developed in the '70s of 1900, they evolved from a very simple approach to complex models representing many of the key processes through which the land surface influence the climate and weather.

Land-surface models can also include ecophysiological modules simulating variables related to vegetation growth and can be expressly optimized for different kinds of vegetation.

Several studies were carried out with the aim of improving the knowledge of many crop agro-ecosystem and infer their micro-meteorological conditions.

Exchange processes were explored in three vineyards located on hills of Monferrato, Langhe and Roero, by means of measurements and numerical simulations carried out with a third generation land-surface model (Francone *et al.*, 2012) adapted for agrometeorological purposes (Cassardo, 2006; Cassardo, 2015). Energy fluxes were also

estimated from sloping crops by Rana *et al.* (2007). Evapotranspiration in vineyards was estimated by Gonzalez-Dugo *et al.* (2012) by means of method of energy balance model.

Other studies were instead related to the evaluation of phenological and physiological variables by means of crop growth models (Poni, 2006; Cortazar-Atauri, 2009; Caffarra, 2010; Cola, 2014).

Among all the micro-meteorological parameters, soil moisture and temperature are recognized to be able to affect the turbulent heat fluxes and then the atmospheric stability.

Soil moisture and temperature have also important effects on crop physiology, and their monitoring represents an interesting index of plant status and yield quality.

In the present context of climate change, it is fundamental the investigation of possible time trend of soil parameters and their relation with crop growth processes.

As a matter of fact, long term measurements of soil temperature and moisture in the root zone are almost not available. There are some short term measurements in some locations, but these data could be considered as scarcely representative of the surrounding areas.

In this study, simulations over a period of climatological relevance (60 years) have been carried out by means of a third generation land-surface model, UTOPIA (University of TORino model of land Process Interaction with Atmosphere) (Cassardo, 2015). To demonstrate the potentiality of the method, preliminary simulations (here discussed) concern only a selected area in Piedmont region, but the project aim is an extension to other areas of the Italian territory.

Among the results of simulations, variables related to the soil conditions will be here discussed.

## Materials and Methods

The UTOPIA model is a third generation land-surface model, formerly named as the Land Surface Process Model (LSPM) (Cassardo, 1995; Cassardo, 2006). It is a diagnostic one-dimensional model and can be used as a stand-alone basis or can also be couples with an atmospheric circulation model or a regional climate model. The model studies the interactions at the interface between atmospheric surface layer, vegetation and soil.

The UTOPIA model can be categorized as a big leaf model, meaning that a single vegetation element contributing to the various processes is considered, without considering its real extension. It is a soil multilayer model, where the layers number can be defined by the user, that works on a single point in which the only direction allowed is the vertical one. Energy exchanges are evaluated by a resistance network taking into account the kind of surface. Momentum, heat and water vapor fluxes are the main processes considered, in addition the model simulates the soil hydrological and photosynthetic processes.

The global gridded database GLDAS2.0 (Global Land Data Assimilation System, version 2.0) has been employed to carry out the simulations. This database includes data in the period 1948-2010 with a grid size of 0.25° in latitude and longitude and a temporal resolution of 3 hours. GLDAS is a global archive created by NASA (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) which purpose is to assemble data observed from satellite, ground-based and from land surface models.

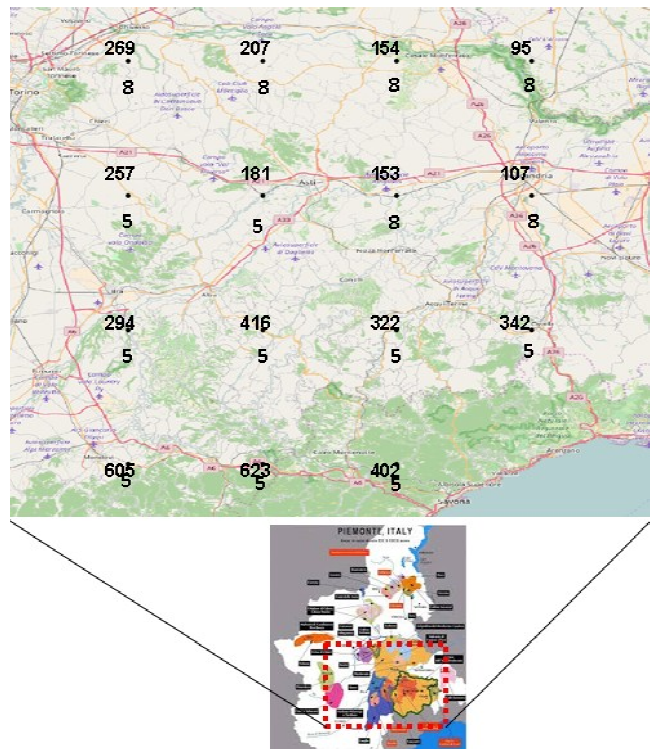
Data from GLDAS archive are used as boundary conditions for the UTOPIA. Retrieved data, required by UTOPIA, are: air temperature, air humidity, atmospheric pressure, wind speed, precipitation rate, long-wave and short-wave incoming radiation.

Vegetation parameters involved in the routines of UTOPIA model were initialized by means of values optimized for vineyards vegetation type.

The soil variables were initialized, in the nine soil layers considered in UTOPIA model, by using two empirical equations accounting for the soil type, the air temperature, the soil depth and the Julian day.

Here the main results of simulations carried out over the most important wine area of Piemonte region (Langhe and Monferrato), including 15 grid points (Fig. 1), will be presented.

The UTOPIA output variables taken into consideration here have been the soil temperature and humidity of the second soil layer, referred to an average depth of 5 cm. These variables have been used to calculate four indices associated with temperature and moisture thresholds, in order to indicate the occurrence of dry/wet or warm/cold episodes. In this respect, the definition of such thresholds



has been conducted by considering mainly the effect on vegetation (in this case, vineyards).

*Fig. 1 – location of the fifteen grid points used in the analysis, with the indication of their elevation (in m a.s.l.) and soil texture (code 5 means loam soil, while code 8 means clay loam).*

*Fig. 1 – posizione dei quindici punti griglia usati nell'analisi, con l'indicazione della loro quota (in m s.l.m.) e della tessitura di suolo (il codice 5 significa suolo franco, mentre il codice 8 significa suolo franco-argilloso).*

A warm event has been selected when daily average 5 cm soil temperature exceeded 25 °C; a cold event when 5 cm soil temperature was lower than 5 °C. For dry and wet events, since soil type was different in the grid points considered, a special index was created. The moisture index  $I$  was defined as:

$$I = \frac{q - q_{wi}}{q_{fc} - q_{wi}}$$

where  $q$  is the soil moisture,  $q_{wi}$  the wilting point, and  $q_{fc}$  the field capacity, and all quantities are expressed in units of saturation ratio (i.e. the ratio between the volume of water in the pores and the volume of pores). Considering the index  $I$ , we have defined as dry day a day in which  $I < 0$  and as wet day a day in which  $I > 0.8$ .

The analysis has been then performed analyzing the number of dry/wet/warm/cold days during the 60 years period.

## Results and Discussion



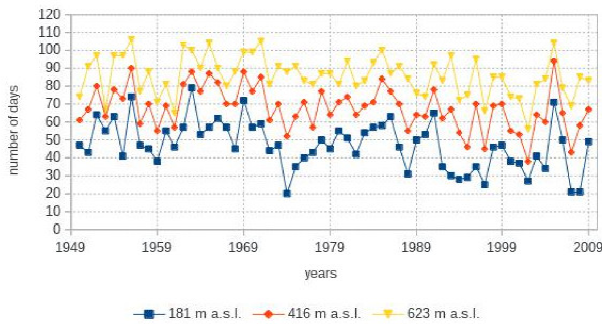


Fig. 2 – time trend of the number of days per year with mean 5 cm soil temperature lower than 5 °C.

Fig. 2 – andamento temporale del numero di giorni annui con la temperatura del suolo a 5 cm inferiore a 5 °C.

Fig. 2 shows the time trend of the number of cold days in the whole analyzed period of 60 years for three grid points characterized by different elevation (about 440 m of difference between the lowest and the highest). As expected, there is a clear difference, indicating that the influence of the elevation is consistent even with small altitude differences.

Trend of the number of cold days (1950-2009)

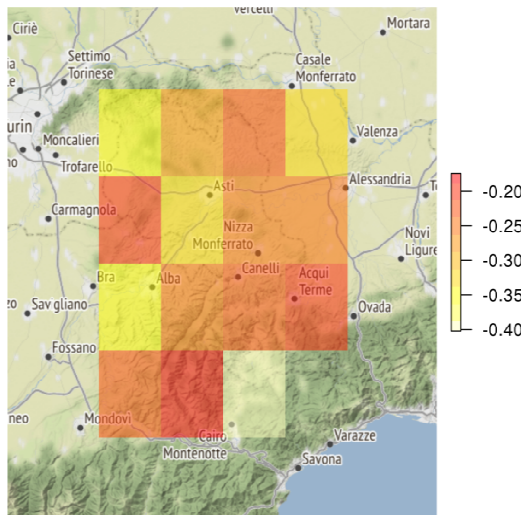


Fig. 3 – trend of the number of cold days for every grid point in the whole 60 years period analyzed.

Fig. 3 – trend del numero di giorni freddi per ogni punto griglia nell'intero sessantennio analizzato.

A closer inspection reveals a first period (1950-1975) in which, considering the interannual variability, the number of cold days seems almost constant, and a subsequent period characterized by a slightly decrease trend, more evident in the lowest point. However, the trends do not are statistically significant.

Plotting the time trend of the cold days for every grid point, it appears evident as all grid points have a negative trend, varying between 0.2 and 0.4 days per year, and that the most negative trends are founded in the grid points more homogeneous from an altimetric point of view (and not in those characterized by the lowest elevation).

Trend of the number of warm days (1950-2009)

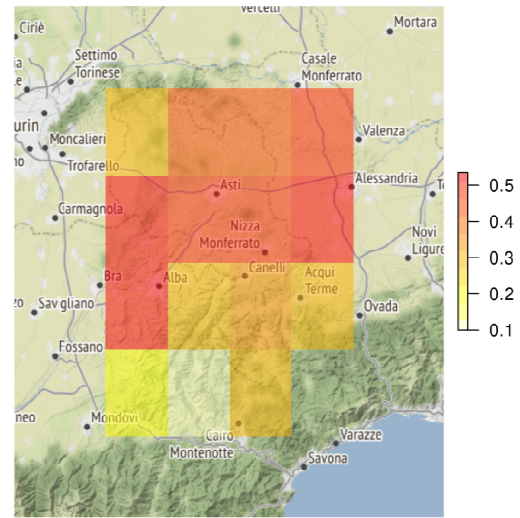


Fig. 4 – same of Fig. 3 but for warm days.

Fig. 4 – come la Fig. 3 ma per i giorni caldi.

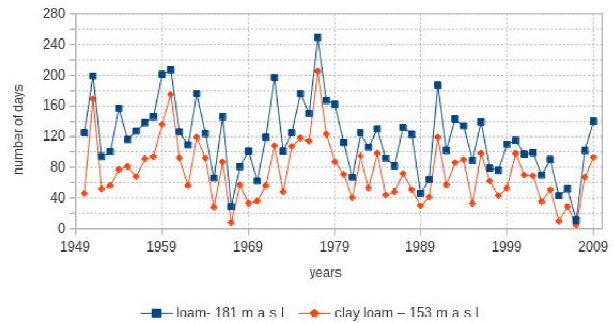


Fig. 5 – time trend of the number of days per year with soil moisture index  $I > 0.8$  (wet days).

Fig. 5 – andamento temporale del numero di giorni annui con l'indice di umidità del suolo  $I > 0.8$  (giorni umidi).

Looking at Fig. 4, which reports the trend of the warm days (e.g. the number of days per year in which the daily mean soil temperature exceeds 25 °C), we notice that all trends are positive, and that the largest ones are located in the central part of the region, while those located close to the preapennines and prealps (and those in the Apennines) show the lowest trend, perhaps for the effect of the neighbor mountains.

### Trend of the number of wet days (1950-2009)

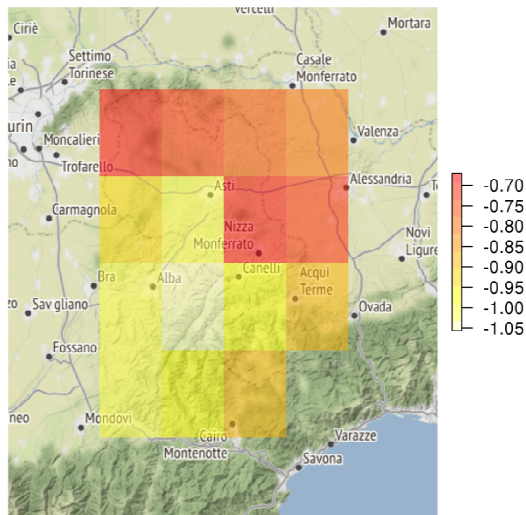


Fig. 6 – same of Fig. 3 but for wet days.  
Fig. 6 – come in Fig. 3 ma per i giorni umidi.

### Trend of the number of dry days (1950-2009)

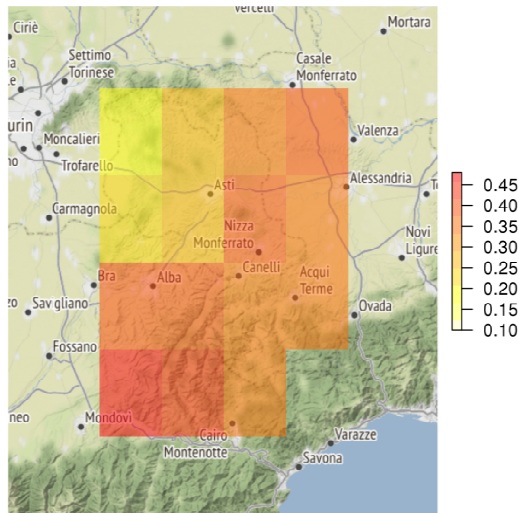


Fig. 7 – same of Fig. 3 but for dry days.  
Fig. 7 – come in Fig. 3 ma per i giorni secchi.

Fig. 5 shows instead the time trend of the number of wet days (e.g. those with soil moisture index  $I > 0.8$ ) in the whole analyzed period of 60 years for two grid points characterized by different soil type (loam and clay loam) and located at similar elevation. The same three grid points above mentioned. As expected, significant differences emerge for the wetter years, while in the drier periods difference are lower. Also in this case, the plot shows two different subperiods: the 1950-1980, with large interannual variability and a small trend, and the period 1980-2009

with a more pronounced negative trend. The inspection of Fig. 6, which reports the trends of the wet days in every grid points, reveals a negative trend for all grid points. However, surprisingly, the trends are, in absolute values, larger in Langhe region than in Monferrato one, thus showing a lesser decrease in the area of northern Asti province and western Alessandria province.

Fig. 7 shows instead a reverse situation: the number of dry days is increasing everywhere, and its trend appears larger in southern and western areas. Since soil moisture tends to decrease when air temperature increases (enhancing the evapotranspiration) and/or when precipitation decreases, further analyses will be conducted to understand which one of those two factors is prevailing in every subarea of the study region.

### Conclusions

The inspection of the number of dry/wet/cold/warm days, evaluated on the basis of 5 cm soil temperature and moisture diagnosed by the land surface scheme UTOPIA driven by GLDAS2.0 dataset in the period 1950-2009, shows that such indicators are affected by relevant trends, more evident in the more recent 30 years period. Since the depth of the layer analyzed is important for several crops, including vineyards (even if usually vines extend their roots in a deeper portion of soil), we think that the amplitude of the observed trends can have large effects on the production of fruits depending on natural precipitation (e.g. without artificial irrigation). In particular, some areas show decreasing trends of dry days very large (-1 day/year, corresponding to one month every 30 years, and two months over the whole period). Large variations characterize also the number of warm/cold days, with an increment (reduction) of the former (latter).

### References

- Francone C., Katul G., Cassardo C., Richiardone R., 2012. Turbulent transport efficiency and the ejection-sweep motion for momentum and heat on sloping terrain covered with vineyards. *Agricultural and Forest Meteorology*, 162-163: 98-107.
- Cassardo C., 2006. The Land Surface Process Model (LSPM) Version 2006. Tech. Rep. DFG Report - 01/2006, Dipartimento di Fisica Generale Amedeo Avogadro, Torino, Italy, 62 pp.
- Cassardo C., 2015. The University of Torino model of land Process Interaction with Atmosphere (UTOPIA) Version 2015. Tech. Rep., CCCPR/SSRC-TR-2015-1, CCCPR/SSRC, Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea, 80 pp.
- Gonzalez-Dugo M.P., Gonzalez-Piqueras J., Campos I, Balbontin C., Calera A., 2012. Estimation of surface energy fluxes in vineyard using field measurements of canopy and soil temperature. Remote sensing and hydrology (proceedings of a symposium held at Jackson Hole, Wyoming, USA September 2010, IHAS Publ. 352)

- Rana G., Ferrara R.M., Martinelli N., Personnic P., Cellier P., 2007, Estimating energy fluxes from sloping crops using standard agrometeorological measurements and topography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 146 : 116 – 133.
- Poni S., Palliotti A., Bernizzoni F., 2006. Calibration and evaluation of a STELLA software based daily CO<sub>2</sub> balance model in *Vitis vinifera* L. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131(2):273–283.
- Cortazar–Atauri I., Brisson N., Gaudillere JP., 2009. Performance of several models for predicting budburst date of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Int J Biometeorol*, 53: 317–326.
- Caffarra A., Eccel E., 2010. Increasing the robustness of phenological models for *Vitis Vinifera* cv. Chardonnay. *Int. J. Biometeorol*, 54(3): 255-267.
- Cola G., Mariani L., Salinari F., Civardi S., Bernizzoni F., Gatti M., Poni S., 2014. Description and testing of a weather–based model for predicting phenology, canopy development and source–sink balance in *Vitis vinifera* L. cv. Barbera. *Agricultur and forest Meteorology*, 184, 117–136.
- Cassardo C., Ji J. J., and Longhetto A., 1995. A study of the performance of a land surface process model (LSPM). *Bound.-Layer Meteor.*, 72, 87-121.

# ORCHARDS LAI ESTIMATION THROUGH THE RADIATION EXTINCTION COEFFICIENT

## *STIMA DEL LAI DI FRUTTETI ATTRAVERSO IL COEFFICIENTE DI ESTINZIONE DELLA RADIAZIONE*

Francesca Ventura<sup>1\*</sup>, Adriano Battilani<sup>2</sup>, Elisa Guerra<sup>1</sup>, Tommaso Letterio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Bologna, DISTAL, viale Giuseppe Fanin, 44, 40127, Bologna

<sup>2</sup> Consorzio di Secondo Grado per il Canale Emiliano Romagnolo, via Ernesto Masi, 8, 40137, Bologna.

\*francesca.ventura@unibo.it

### **Abstract**

Light interception is an indicator of crop vigor and phenological phase. Although algorithms found in literature are useful for calibration of direct measurement tools, they are difficult to replicate since optical corrections are needed to account for different canopy shapes. During 2016-17 growing seasons non destructive, cheap and easy to use methods to assess plant-light interaction characteristics were developed and tested in six orchards in Emilia-Romagna (Italy). The Photosynthetically Active Radiation (PAR) was detected below and above crown by an AccuPAR LP80 ceptometer, Canopy Cover (CC) was derived through hemispherical photos from a smartphone equipped with a fisheye lens, leaves for direct LAI were collected from sample plants, and measured in laboratory. The below PAR was adjusted according two geometrical corrections. The ratio above-to-below PAR was inverted to obtain the fraction of absorbed PAR (FAPAR), and to estimate the indirect LAI. Correlations between direct and indirect LAI according to plant geometry, and regardless the species, is presented. Trend lines equations were used to calculate the extinction coefficient (K), allowing LAI estimation in other orchards with similar geometrical characteristics. These studies were part of the activities supported by the MOSES European project ([http://moses-project.eu/moses\\_website/](http://moses-project.eu/moses_website/)).

### **Keywords**

Leaf Area Index, Canopy Cover, orchard, FAPAR, radiation extinction coefficient.

### **Parole chiave**

Indice di Area Fogliare, copertura vegetale, frutteto, FAPAR, coefficiente di estinzione della radiazione.

### **Introduction**

In orchards photosynthetically active radiation (PAR) affects fruit tree health and growth (Beaudet and Messier 2002). Size, shape, position and orientation of plants, as well as the distribution of optical properties, characterize and affect the canopy structure (Weiss et al. 2004). As a consequence, light environment in the fruit zone and radiation interception are indicators of crop vigor and phenological phases (Gilardelli et al. 2018). In particular, Leaf Area Index (LAI), Canopy Cover (CC), and extinction fraction coefficient (K) data are key variables for describing crop and environment interactions (Ramirez-Garcia, Almendros, and Quemada 2012).

LAI is defined as the total one-sided area of leaves per unit ground surface area (Watson, 1947), and it is measured through direct and indirect methods (Zarate-Valdez et al. 2012). Direct methods, such as leaves measuring, are generally destructive and more used for annual species; in addition, they are time consuming, expensive and difficult to apply. Indirect -or optical- methods are based on the transmittance of radiation through the canopy (Duchemin et al. 2006; Khabba et al. 2009). The AccuPAR LP-80 (Decagon Devices, Inc. Pullman, WA, USA, [www.decagon.com/](http://www.decagon.com/), LP-80 thereafter), and hemispherical (fisheye lens) photography are examples of well known and widely used indirect methods based on the analysis of either the sky gap fraction, or the gap size distribution of light

transmitted through the canopy (Bréda, 2003). Digital Hemispherical Photographs (DHP) capture the fraction of light absorbed and transmitted through the canopy, according to its structure (Beaudet and Messier 2002). For leaves randomly distributed, the extinction coefficient K, is the leaf unit mean projection on surface, which is perpendicular to the radiation beam; it is mainly determined by leaves distribution angle, and the radiation direction (Bréda 2003; Wang, Li, and Su 2007).

Numerous published studies (e.g. (Bacour et al. 2006; Jonckheere et al. 2004)) report significant positive correlations between direct sensor measurements and indirect photographic estimates of PAR transmission. Algorithms found in literature, mainly according to zenith angle ( $\theta$ ) and leaves angle distribution ( $\gamma$ ), are useful for calibration of direct measurement tools (Chianucci 2016). Nevertheless, these algorithms are not easily replicable, since optical corrections are needed to account for different canopy shapes (Orlando et al. 2016).

Aim of this work was to develop a tool to assess LAI of orchards using non- destructive, low cost and easy to use methods, independent by crop species. In the framework of the MOSES project, PAR and CC were measured in six orchards in Emilia-Romagna, Italy, and in three replications dates, during two growing seasons (2016-17). Direct LAI was also measured at the end of the season for instruments



calibration. Four crops were investigated: peach (*Prunus persica*), plum (*Prunus domestica*), kiwi fruit (*Actinidia chinensis*), and pear (*Pyrus communis*). A correlation was found between measured direct LAI, CC from DHP, and PAR from ceptometer. Trend lines equations were used to calculate K, allowing the replicability in other orchards with similar optical characteristics.

### Materials and Methods

Emilia-Romagna has a continental climate, with hot summers, slightly rainy, and rather humid. The Forlì-Cesena province (FC) is located between the Apennines and the Adriatic Sea. For the two-years of the survey (2016-17), yearly mean temperature was 15°C, and mean yearly cumulated precipitations were 534 mm. Measurements were taken between June and July, at the farms listed in Tab. 1, on date reported in Tab. 2.

Tab.1 - Characteristics of the experimental farms.

Tab.1 - Caratteristiche delle aziende sperimentali.

Lat	Lon	Farm	Crop	Training system	Irrigation system
44,13	12,19	Casetti	peach	Slender spindle	Drip
44,13	12,20	Fungo	peach	V-shape	Drip
44,14	12,21	Paci	peach	V-shape	Drip
44,15	12,20	Lazzari	plum	V-shape	Micro-sprinkler
44,13	12,20	Romini	pear	Slender spindle	Micro-sprinkler
44,29	12,16	Plazzi	kiwi	Pergola	Drip

Tab.2 – Survey date and measured parameters.

Tab.2 - Date delle rilevazioni e parametri misurati.

Repetition	Survey date	Type of data
I	20/05/16	Plant height (h) Plant width (L) PAR DHP
	24-25/05/16	
II	29/06/16	
	06-07/07/16	
III	28-29/07/16	
I	10/05/17	
	24-25/05/17	
II	14-15/06/17	
III	20-24/07/17	

Every orchard had four measurement points, GPS localized. Each of the points is divided in two sections, named as transept A and transept B (Fig. 1). Seven detections per transept were taken at the same time to obtain comparable data for both Photosynthetically Active Radiation (PAR) and CC. Since they affect the pattern of light transmission through the canopy (Beaudet and Messier 2002), height and width of four plants were measured at each sampling point.

PAR was detected with the LP-80 ceptometer. This parameter was then inverted into the Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FAPAR=1-PAR) (Gobron and Verstraete 2009) for LAI definition, in relation to a vegetation cover, using several variables.

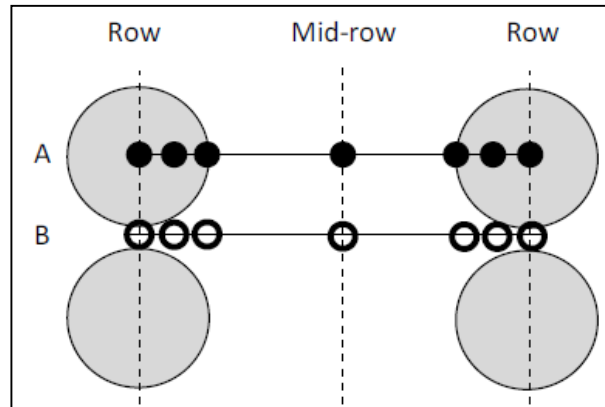


Fig. 1 - Survey site description: 4 measurement points, 2 transects (A, B), 7 sampling points per each measured parameter.

Fig. 1 – Descrizione del sito di rilievo: 4 punti per azienda, in ciascun punto 2 transetti (A, B), 7 punti per transetto per ogni parametro misurato.

DHP were taken using a Huawei smartphone with a fish-eye lens attached, which enlarges the field of view ( $V_f$ ), mounted on a monopod, and being sufficient far from the researcher. Among the 14 measurements per measurement point, only FAPAR and CC detected at the first and last sampling points (at trunk for transept A, between trunks for transept B) were used for the correction method here presented. For CC data collection, DHP were taken from the ground upwards ( $DHP_{CC}$ ), while for Ground Cover (GC) data, meaning the vegetation ground covering the orchard, DHP were captured from top to down ( $DHP_{GC}$ ).  $DHP_{CC}$  were processed with PBP-v1.0 (Plant Biophysics with Python - version 1.0), a software ad-hoc developed (Montanari, 2016) to accurately identify shadow and light zones below tree crowns.  $DHP_{GC}$  were analyzed with Easy Leaf Area (Easlon and Bloom, 2014), a software that allows to estimate CC by distinguishing leaf area on background soil. The measurement of direct LAI was carried out with a destructive method at the end of each growing season, by weighting and scanning in laboratory the leaves collected from one -or two- plants per farm, at point measurement 1. These data were analyzed with ImageJ software (Schneider et al. 2012).

Starting from Eq. 1, as reported in the LP-80 manual, PAR from ceptometer was adjusted to account for canopy geometrical characteristics (Fig. 2).

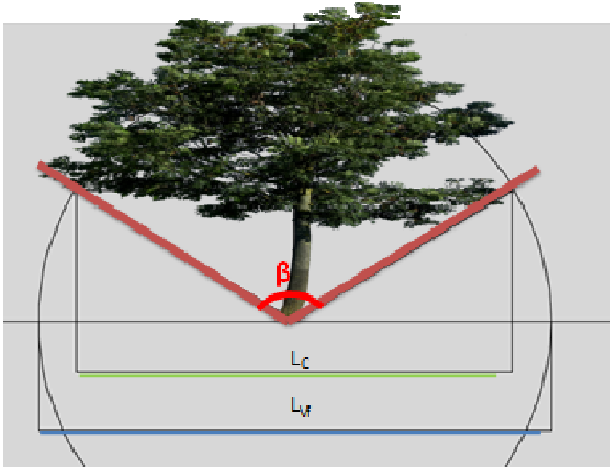


Fig. 2 - Geometrical correction for Below TAU adjustment.  $\tau_{proj}$  corresponds to the ratio of the fraction of view angle ( $\beta$ ) and  $\pi$ , since the crown perimeter is similar to a arch of a circumference having the maximum tree height as radius.  $\tau_{emi}$  is equal to the ratio between the crown width ( $L_C$ ) and the fraction of view width ( $L_{Vf}$ ).

Fig. 2 - Correzione geometrica del Below  $\tau$ .  $\tau_{proj}$  è il rapporto tra la frazione dell'angolo  $\beta$  e  $\pi$ , poiché il perimetro della chioma può essere approssimato l'arco di una circonferenza che abbia l'altezza dell'albero come raggio.  $\tau_{hemi}$  è uguale al rapporto tra la larghezza della chioma ( $L_C$ ) e la frazione dell'angolo di visuale ( $L_{Vf}$ ).

The Tau ( $\tau$ ) parameter is defined as the above-to-below PAR ratio. The zenith angle ( $z$ ) is defined as the angle between the sun in its position during the measurement, and that it would have at zenith. The instrument calculates  $z$  according to the geographic coordinates, the day and time at which the measurement is carried out. Beam fraction ( $f_b$ ) is the direct radiation from the sun ( $r_s$ ), and the radiation from other sources (or diffuse) ratio. The instrument calculates  $f_b$  by comparing the value of PAR below the canopy, with the  $r_s$  value directly derived. Leaf distribution parameter ( $\alpha$ ) refers to the leaves distribution angles within the canopy ( $\alpha$ ).

$$LAI = \frac{\left[ \left(1 - \frac{1}{2K}\right) f_{b-1} \right] \ln \tau}{A = (1 - 0.47 f_b)} \quad \text{Eq. (1)}$$

Where A is equal to:  $A = 0.283 + 0.785\alpha - 0.159\alpha^2$ , with  $\alpha = 0.9$ , as the LP-80 manual defines.

More in detail, the above PAR remained the same, while the below PAR was corrected to exclude the radiation not intercepted by the canopy, according to a projected ( $\tau_{proj}$ ) and a hemispherical correction ( $\tau_{hemi}$ ), as Fig. 2 explains, and in particular having defined:

$$\tau_{proj} = \beta / \pi \quad \text{Eq. (2)}$$

$$\tau_{hemi} = L_C / L_{Vf} \quad \text{Eq. (3)}$$

where  $\beta$  is the fraction of view angle,  $L_C$  is the minimum crown width,  $L_{Vf}$  is the fisheye view width, and  $h$  is the height of branch insertion. The entire CC and indirect FAPAR data sets (2016-17) were compared with direct LAI measurements, adjusted for farm-specific dry matter

percentages. In order to account for both the fraction of CC from tree crops, and the ground cover from herbaceous crops, the equation reported in Ramirez-Garcia (2012) was considered (Eq. 4). For  $LAI < 4.01$ , CC is equal to LAI as follows:

$$GC(\%) = 47.82 * LAI - 5.96 * LAI^2 \quad \text{Eq. (4)}$$

This formula was applied for LAI calculation, by replacing GC values with CC mid-row data, estimated from  $DHP_{CC}$  and analyzed as previously described.

## Results

The ad-hoc program PBP-v1.0, was applied to accurately identify shadow and light zones below tree crowns. This software for CC images analysis allow to: i) eliminate the distortion of images captured with a fisheye lens attached to the smart-phone camera; ii) modify images chromatic scale, through the transition from RGB images (Red, Green and Blue) to binary images (black and white); iii) determine single images intrinsic parameters.

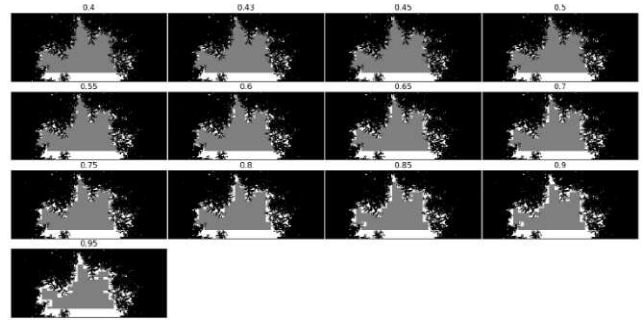


Fig. 3 - Different thresholds of images corrections, obtained from different CC values, which were calibrated using direct LAI values, measured at the end of the 2016-17 growing season.

Fig. 3 - Soglie di correzione delle immagini, ottenute dai vari valori di CC, calibrati con i valori di LAI diretto misurati alla fine della stagione di crescita 2016-17.

For the model validation based on the comparison of the results obtained by the specially developed PBP-v1.0 with direct LAI data (2016), different thresholds were applied. A correct threshold helps to better discriminate in the pictures sky from leaves and trunks, and the best threshold resulted in the sixth one (Fig. 3), i.e. the one that allows the calculation the sky fraction according to the size of the tree crown as  $S$  (sky pixels)/ $T$  (total pixels), with a ratio higher than 0.60.

As expected, considering only detections at trunk, or between trunks (for A, and B transept, respectively), increased the amount of the intercepted radiation.

Results of the comparison for direct and indirect LAI estimation methods are presented in Fig. 4. After inversion of PAR into FAPAR parameter, trend line equations for  $FAPAR_{proj}$ ,  $FAPAR_{hemi}$ , and CC were outlined. They have a  $R^2$  equal to 0.88, 0.70, and 0.66, respectively. Between these two geometrical corrections,  $FAPAR_{proj}$  results in the highest correlation with direct LAI, since  $FAPAR_{proj}$  values are lower.

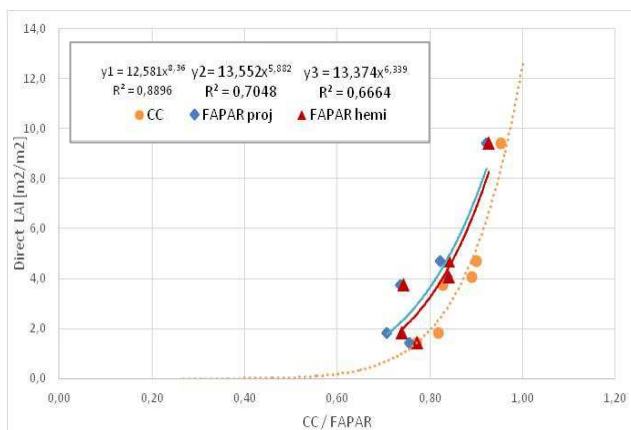


Fig. 4 – Direct LAI, FAPAR, and CC values comparison. The direct LAI compared with the CC values are orange colored. The comparison of the direct LAI with the FAPAR evaluated by LP-80 and adjusted is red for the hemispherical correction, and blue for the projected correction. The  $R^2$  values are: 0.89 (CC), 0.70 (FAPAR proj and 0.67 (FAPAR hemi).

Fig. 4 – Confronto tra valori di LAI diretto, FAPAR e CC. Il LAI diretto confrontato con I valori di CC sono rappresentati in arancio. Il confronto del LAI diretto con il FAPAR stimato da LP-80 e corretto è riportato in rosso per quanto riguarda la correzione emisferica e in blu per la correzione proiettata. I valori di  $R^2$  sono: rispettivamente: 0.89 (CC), 0.70 (FAPAR proj e 0.67 (FAPAR hemi).

After the calibration previously describes, the derived formula (Eq. 5) for the extinction coefficient (K) was applied:

$$K = \frac{1}{2} + \frac{[\ln\tau(f_b-1)]}{LA(1-0.47f_b)} \quad \text{Eq. (5)}$$

where  $\tau = \text{PAR}_{proj}$  Below/Above.

The K value obtained from Eq. (5) may be used in Eq. (1), instead of table values, to obtain more reliable LAI data from indirect measures, such as canopy cover obtained from DHP, for fruit trees, regardless the tree species. For example, for Romini farm, which crop is pear,  $K=0.06$ . This value of K is reliable, since the zenith angle was optimal, and it is rather low due to high measured LAI (in 2017 survey) equal to 9, in comparison with tabular LAI values of about 2-3. This demonstrates that LAI values on orchards depends highly on the training system, and the growing shape of fruit trees, which are tridimensional systems, meaning that further investigations are needed.

## Discussion and Conclusions

In literature, there are complementary approaches to describe light and crop interactions, where Leaf Area Index plays a key role as canopy descriptor (Bréda et al. 2003). Although several studies developed algorithms based on vegetation indices in estimating LAI for herbaceous crops, further investigations on canopy structure and light interactions are needed, especially for tree crops (Nguy-Robertson and Gitelson 2015; Viña et al. 2011). In particular, the commonly assumed spherical leaf angle

distribution was found to significantly underestimate light transmission through the canopy (Wang et al. 2007). The zenith angle, which affect the separation into sunlit and shaded foliage, is important in scaling canopy processes such as photosynthesis and stomatal conductance, according to the different responses of foliage to diffuse and direct solar radiation (Gu et al. 2002).

In this study, two non destructive, cheap and indirect methods, which are CC from DHP and PAR from a LP-80 ceptometer, were compared with one invasive, time and labour consuming method that is direct LAI, in six orchards, in Emilia-Romagna (Italy), during two growing season (2016-17). While CC from DHP was corrected for the most appropriate threshold (0,60), which was computed by means of the PBP-v1.0 software, and calibrated with direct LAI (measured in January 2017), the LP-80 data were adjusted applying two corrections, considering the 180° fish-eye field of view angle. In fact, while DHP allows discriminating between pixel detecting fraction of sky and canopy, named also leaves gap fraction, the ceptometer data need to be adjusted to obtain the radiation intercepted by canopy, according to its geometrical structure.

Data showed a good correlation between the methods above described. After the opportune calibration, the extinction coefficient (K) was derived. These outputs allow applying indirect methods to estimate LAI in orchards, or in row trees, which is a widely used parameter for plant monitoring purpose (Gilardeili et al. 2018), regardless the tree species, and according to canopy structure. In particular, it can be useful for studies investigating crop and environment exchange, such as water and energy balance at larger scale, as for example irrigation district or water basin, including remote sensed data (Hirose 2005; Duchemin et al. 2009).

## Acknowledgements

This research is supported by MOSES project through contract 642258-H2020-WATER-2014-15. The Authors thanks the farmers and the Consorzio Bonifica della Romagna for having taken part to the project.

## References

- Bacour, C., F. Baret, D. Béal, M. Weiss, and K. Pavageau. 2006. 'Neural Network Estimation of LAI, fAPAR, fCover and LAI×Cab, from Top of Canopy MERIS Reflectance Data: Principles and Validation'. *Remote Sensing of Environment* 105(4):313–25.
- Beaudet, M., and Messier C. 2002. 'Variation in Canopy Openness and Light Transmission Following Selection Cutting in Northern Hardwood Stands: An Assessment Based on Hemispherical Photographs'. *Agricultural and Forest Meteorology* 110(3):217–28.
- Bréda, N. J. J. 2003. 'Ground-Based Measurements of Leaf Area Index: A Review of Methods, Instruments and Current Controversies'. *Journal of Experimental Botany* 54(392):2403–17. Retrieved (<https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/erg263>).

- Chianucci, F., 2016. 'A Note on Estimating Canopy Cover from Digital Cover and Hemispherical Photography'. *Silva Fennica* 50(1).
- Duchemin, B. et al. 2006. 'Monitoring Wheat Phenology and Irrigation in Central Morocco: On the Use of Relationships between Evapotranspiration, Crops Coefficients, Leaf Area Index and Remotely-Sensed Vegetation Indices'. *Agricultural Water Management* 79(1):1–27.
- Easlon, H. M. and A. J. Bloom. 2014. 'Easy Leaf Area: Automated Digital Image Analysis for Rapid and Accurate Measurement of Leaf Area'. *Applications in Plant Sciences* 2(7):1400033. Retrieved 26 April 2018 (<http://doi.wiley.com/10.3732/apps.1400033>).
- Gilardelli, C., Orlando, F., Movedi, E., and Confalonieri R. 2018. 'Quantifying the Accuracy of Digital Hemispherical Photography for Leaf Area Index Estimates on Broad-Leaved Tree Species'. *Sensors* 18(4):1028. Retrieved (<http://www.mdpi.com/1424-8220/18/4/1028>).
- Gobron, N. and Verstraete M. M.. 2009. 'Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FAPAR)'. *Assessment of the Status of the Development of the Standards for the Terrestrial Essential Climate Variables (T10-fAPAR)*:24. Retrieved (<http://www.fao.org/gtos/ECV-T10.html>).
- Gu, Lianhong et al. 2002. 'Advantages of Diffuse Radiation for Terrestrial Ecosystem Productivity'. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 107(D6):ACL 2-1-ACL 2-23. Retrieved (<http://doi.wiley.com/10.1029/2001JD001242>).
- Hirose, T., 2005. 'Development of the Monsi-Saeki Theory on Canopy Structure and Function'. Pp. 483–94 in *Annals of Botany*, vol. 95.
- Jonckheere, I. et al. 2004. 'Review of Methods for in Situ Leaf Area Index Determination Part I. Theories, Sensors and Hemispherical Photography'. *Agricultural and Forest Meteorology* 121(1–2):19–35.
- Khabba, S., Duchemin, B., Hadria, R., Er-Raki, S., Ezzahar, J., Chehbouni, A., Lahrouni, A., Hanich, L. 2009. 'Evaluation of Digital Hemispherical Photography and Plant Canopy Analyzer for Measuring Vegetation Area Index in Orange Orchards'. *Journal of Agronomy* 8(2):62–72.
- Montanari, G., 2016. *Valutazione Della Copertura Vegetale: Sviluppo Di Un Software Di Analisi Grafica Di Fotografie Emisferiche per La Determinazione Di Parametri Biofisici*. edited by A. M. S. U. of Bologna.
- Nguy-Robertson, A. L. and A. A. Gitelson. 2015. 'Algorithms for Estimating Green Leaf Area Index in C3 and C4 Crops for MODIS, Landsat TM/ETM+, MERIS, Sentinel MSI/OLCI, and Venüs Sensors'. *Remote Sensing Letters* 6(5):360–69.
- Orlando, F. et al. 2016. 'Estimating Leaf Area Index (LAI) in Vineyards Using the PocketLAI Smart-App'. *Sensors (Basel, Switzerland)* 16(12):1–12.
- Ramirez-Garcia, J., P. Almendros, and M. Quemada. 2012. 'Ground Cover and Leaf Area Index Relationship in a Grass, Legume and Crucifer Crop'. *Plant, Soil and Environment* 58(8):385–90.
- Schneider, CA, WS Rasband, and KW Eliceiri. 2012. 'ImageJ'. *Nature Methods* 9(7):671–75.
- Viña, A., Anatoly A. Gitelson, A. L. Nguy-Robertson, and Yi Peng. 2011. 'Comparison of Different Vegetation Indices for the Remote Assessment of Green Leaf Area Index of Crops'. *Remote Sensing of Environment* 115(12):3468–78.
- Wang, W. M., Z. L. Li, and H. B. Su. 2007. 'Comparison of Leaf Angle Distribution Functions: Effects on Extinction Coefficient and Fraction of Sunlit Foliage'. *Agricultural and Forest Meteorology* 143(1–2):106–22.
- Watson, D. J. 1947. 'Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops: I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties, and within and between Years'. *Annals of Botany* 11(1):41–76. Retrieved (<https://academic.oup.com/aob/article/159526/Comparative>).
- Weiss, M., F. Baret, G. J. Smith, I. Jonckheere, and P. Coppin. 2004. 'Review of Methods for in Situ Leaf Area Index (LAI) Determination Part II. Estimation of LAI, Errors and Sampling'. *Agricultural and Forest Meteorology* 121(1–2):37–53.
- Zarate-Valdez, J. L. et al. 2012. 'Prediction of Leaf Area Index in Almonds by Vegetation Indexes'. *Computers and Electronics in Agriculture* 85:24–32.

# A NEW OPPORTUNITY FOR AGRICULTURAL METEOROLOGY IN ITALY: THE MSc DEGREE IN “ENVIRONMENTAL METEOROLOGY” AT THE UNIVERSITIES OF TRENTO AND INNSBRUCK.

## UNA NUOVA OPPORTUNITÀ PER L'AGROMETEOROLOGIA IN ITALIA: IL CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN “ENVIRONMENTAL METEOROLOGY” PRESSO LE UNIVERSITÀ DI TRENTO E INNSBRUCK

Dino Zardi<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup> Atmospheric Physics Group, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, Trento, Italy

<sup>2</sup> Center Agriculture Food Environment (C3A), University of Trento, Trento, Italy

<sup>3</sup> Italian Association of Atmospheric Sciences and Meteorology (AISAM)

\*dino.zardi@unitn.it

### Abstract

Starting in the academic year 2018/19, the University of Trento (Italy) and the University of Innsbruck (Austria) are going to offer a new joint MSc programme in Environmental Meteorology. The programme will offer courses on various aspects of meteorology and climatology, with a special focus on applications for the environment, including agricultural meteorology. Indeed the curriculum is shaped so as to lead students to acquire not only a sound basis in basic meteorology, but also interdisciplinary contents connected to a number of environmental applications in neighbouring fields, such as hydrology, atmosphere-biosphere-climate interactions, renewable energy resources, environmental chemistry, and air pollution monitoring, modelling and management. Students will also become confident with different complementary approaches, including theoretical analysis, numerical modelling, and experimental techniques specifically oriented to environmental measurements.

### Keywords

University education; Environmental Meteorology; Agricultural Meteorology.

### Parole chiave

Formazione universitaria; Meteorologia ambientale; Agrometeorologia.

### Introduction

“Agricultural meteorology is concerned with the meteorological, hydrological, pedological and biological factors that affect agricultural production and with the interaction between agriculture and the environment. Its objectives are to elucidate these effects and to assist farmers in preparing themselves by applying this supportive knowledge and information in agrometeorological practices and through agrometeorological services” (WMO 2012). As such, *Agrometeorology* is a discipline not only bridging the two fields of agriculture and meteorology, so that it can be rightfully ascribed to both areas, but also may other environmental sectors.

University courses in agrometeorology have been traditionally offered in Italy within programmes leading to degrees in agriculture sciences. On the other hand, the offer of university courses in meteorology within other related branches (such as physics, engineering, environmental sciences, etc.) has been traditionally rather limited, for a series of reasons (Visconti and Marzano 2008).

However, the increasing demand of new knowledge, connected with progress in technological applications stimulated the offer of newly conceived university programmes.

To fill this gap, various initiatives have been recently undertaken, among which a new programme, leading students to achieve a Master of Science degree in

Environmental Meteorology, jointly organised by the University of Trento (Italy) and the University of Innsbruck (Austria).

### Overview of the MSc programme

The programme aims at preparing students to deal with a variety of applications related to the environment, by offering them a series of learning opportunities in different aspects of meteorology: theoretical bases, experimental methods, numerical modelling techniques, applications to various environmental systems (Table I). For this reason, students can be admitted to the programme holding a variety of bachelor degrees (meteorology, physics, chemistry, engineering, environmental, agricultural or forest sciences), provided they have a solid background in mathematics, theoretical and applied physics, and chemistry.

A maximum number of 30 students will be admitted each year.

All lectures are taught in English, and semesters are organised alternately at the two universities so as students can get the most out of the specific expertise available on each side (Table I).

Indeed at the University of Trento the bodies contributing to the programme are the Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering (DICAM), the Center Agriculture Food and Environment (C3A) – a joint



initiative with the Edmund Mach Foundation – and the Department of Physics (DF), while at the University of Innsbruck the reference department is the Institute for Atmospheric and Cryospheric Sciences (ACINN) – formerly Institute for Meteorology and Geophysics (IMGI) – with a long tradition in meteorology, being first established in 1890.

The preparation offered through this programme aims at enabling graduates to provide support and assistance for a series of professional tasks, including the assessment of available energy from renewable resources (both climatologically, in support of for power plant planning, and for short-term forecast), air quality management, water resource management, agricultural and forestry management and planning, applied climatology.

Among these a special emphasis will be put in the applications of meteorology and climatology to agricultural operations and to forest management.

Upon fulfilment of all the requirements prescribed in the curriculum, students will be conferred the academic degree “Master of Science in Environmental Meteorology (master degree class LM-75 in the Italian repertory of university master degrees) by the University of Trento and the academic degree “Master of Science” by the University of Innsbruck.

Tab.1 – Scheme of the teaching activities in the MSc in Environmental Meteorology.

Tab.1 – Elenco delle attività didattiche previste dalla laurea magistrale in Environmental Meteorology.

Year	Sem.	Course	EC TS
1	1	Introduction to meteorology and climatology	9
		Environmental fluid mechanics	9
		Environmental measurements	6
		Environmental physical chemistry	6
	2	Air pollution modelling	9
		Numerical methods for environmental s	6
		Hydrology	9
2	3	Biosphere, atmosphere and climate interactions	6
		Atmospheric radiation and remote sensing	5
		Reading, writing and presenting scientific contents	3
		Atmospheric chemistry and biogeochemistry	6
	4	Dynamical and synoptic meteorology	6
		Optional courses	10
		Master Thesis	30
		Optional courses (if not taken in semester 3)	

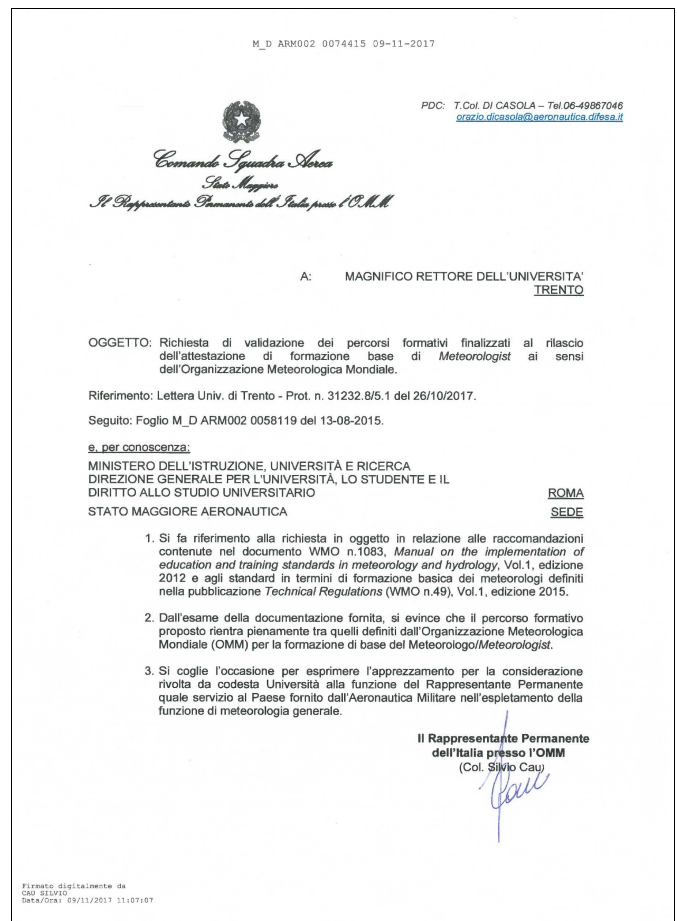


Fig.1- Statement of coherence of the MSc in Environmental Meteorology with recommendations contained in the document WMO No. 1083 issued by the Permanent Representative of Italy at WMO on 9 November 2017.

Fig.1 – Attestazione di conformità del programma di laurea magistrale in Environmental Engineering alle raccomandazioni contenute nel documento WMO No. 1083 (WMO 2012) rilasciato dal Rappresentante Permanente d'Italia presso l'OMM il 9 novembre 2017.

## References

- World Meteorological Organization, 2012: World Meteorological Organisation: Manual on the Implementation of Education and Training Standards in Meteorology and Hydrology (WMO-No. 1083).
- World Meteorological Organization, 2000: Education and Training in Agrometeorology (J. Lomas, J. Collins, S. Gachara and S. Mukhopadhyay). Commission for Agricultural Meteorology Report No. 78 (WMO/TD-No. 990), Geneva.
- World Meteorological Organization, 2012: Guide to Agricultural Meteorological Practices (GAMP) (WMO-No. 134).
- Visconti G. and F.S. Marzano, 2008: The situation of meteorology in Italy: an independent overview, *Bullettin Am. Met. Soc. (BAMS)*, 1, 1279-1284.

# THE MOBILE APPLICATIONS (m-apps) FOR A SUSTAINABLE AGRICULTURE

## LE APP PER UN AGRICOLTURA SOSTENIBILE

Lorenzo Craveri<sup>1</sup>, Carlo Riparbelli<sup>1\*</sup>, Alberto Bonini<sup>2</sup>, Federica Checchetto<sup>2</sup>, Irene Delillo<sup>2</sup>,  
Francesco Domenichini<sup>2</sup>, Silvia R. Motta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ERSAF Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste, Via Pola 12, Milano

<sup>2</sup>ARPAV Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio Servizio Meteorologico, Via Marconi 55, Teolo (PD)

\*[carlo.riparbelli@ersaf.lombardia.it](mailto:carlo.riparbelli@ersaf.lombardia.it)

### Abstract

The dynamic growth of mobile communications combined with the widespread use of all types of mobile devices (i.e. mobile phones and tablets) has changed significantly daily life and business practice. One of the areas with the greatest potential impact is in the contribution that mobile applications can make to agricultural and rural development by providing access to information, markets, and services. In particular, the mobile agricultural apps show significant potential for the modernization of the agricultural sector, in both developed and developing countries.

In this paper, we consider the mobile apps developed by Lombardy and Veneto regions in support of the application of the Nitrate directive and specifically to manage the winter block of spreading required by the legislation.

### Keywords:

agrometeorology, mobile applications, livestock manure, soil.

### Parole chiave:

agrometeorologia, applicazioni per dispositivi mobili, effluenti di allevamento, suolo.

### Introduction

Mobile communications technology has quickly become the world's most common way of transmitting voice, data, and services in the developing world. Given this dramatic change, mobile applications (m-apps) in general and mobile applications for agricultural in particular hold significant potential for advancing development. M-apps are software designed to take advantage of mobile technology and can be developed for technology besides mobile phones. But mobile phones have many key advantages: affordability, wide ownership, voice communications, and instant and convenient service delivery (Qiang et al., 2012).

Agricultural information is a key component in improving agricultural production and linking increased production to remunerative markets, thus leading to improved rural livelihoods, food security and national economies. Improvement of agricultural productivity will be realized when farmers are linked to market information (Masuki et al., 2010). Farms are increasingly approaching on high-tech models, are interconnected and open to the innovation. The success of the business is determined by a reduction in production costs and an increase in quality matching with a lower environmental impact.

Agricultural companies, therefore, are looking for increasingly more precise information, both in territorial and temporal terms, that can assist them in the production system. According to the World Bank the benefits of these apps in the development of the agricultural sector could be achieved through the following ways: i) provision of better access to information, ii) provision of better access to agricultural extension services, iii) provision of better connections with the market and distribution networks, iv) provision of better access to funding opportunities. For some years now, governments have entered an era of cogitation regarding the future of public service provision. Among the prominent issues in the political

agenda stands the modernization of public agencies and the service optimization for citizens, businesses and public employees (Ntaliani et al., 2008).

This work will present some web applications developed by ERSAF in Lombardy and ARPA in Veneto with a focus on the Nitrate directive application, concerning the management of sewage and livestock manure during the winter block of spreading. Furthermore, within our communication will be shown the functionality of other APPs developed by the two entities (ERSAF and ARPAV) of interest for the Italian agricultural sector.

The Nitrates Directive (91/676/EEC) is the European Union regulatory reference for the protection of water and soil from pollution caused by nitrates from agricultural sources. National legislation with Ministerial Decree April 19<sup>th</sup> 1999 (Code of Good Agricultural Practice – COGAP), Legislative Decree 152/2006 and the Ministerial Decree February 25<sup>th</sup> 2016 defined common rules for the Regions for the adoption of the Nitrates Directive by the regional governments. According to national legislation, the Regions are tasked to define Nitrate Vulnerable Zones and drafting their Action Plans reviewed and updated at four-year intervals. The recent Ministerial Decree February 25<sup>th</sup> establishes the methods of agronomic use, application doses and periods of prohibition of the use of manure, slurry, sludges, sewage, and other organic and nitrogen fertilizers for the autumn and winter season in the NVZs. The article 40 states that the Regions and Autonomous Provinces may provide for an organization of different ban periods, considering the specific local weather conditions and its consequences on crop management. Under these conditions, the Action Programs of the Padano-Veneto basin regions set a 60-day continuous winter banning period in December and January and a further 30 days, even non-continuous, to be settled in November and in February.

To define livestock manure distribution periods and areas, the Regions have developed specific agrometeorological bulletins for farmers, implemented in specific m-apps.

### Materials and Methods

Lombardy and Veneto have split the territory into homogeneous areas to modelling the agrometeorological conditions (i.e. rainfall forecast, calculated evapotranspiration), the soil characteristics (i.e. texture, available water content), the crops (i.e. meadow, winter crop) and the crops/soil management (i.e. soil preparation for early or late autumn sowing, crop residues, soil trafficability) in order to have enough data to let the m-apps run.

The meteorological services were born in the early 90s with the aim, among others, to install and manage the network of agrometeorological detection stations necessary to fit the request of the farmers and to have agrometeorological information useful in the management of their own farms. In those years, it was very complex to provide timely news at low cost. The newsletters, for example, were mainly sent by ordinary mail or fax, which implied that delivery times weight significantly to the usefulness of the information provided. The advent of the Internet was the first step towards a solving solution, but it took several years to become a real instrument for almost all farmers. Since the beginning of the 2000s, therefore, the mail transmission of the paper bulletin has been suspended, to let the possibility of its consultation on the authority websites. With the opportunity to the internet access directly with mobile devices has opened up a new challenge for the agrometeorology: reach the individual user directly on their smartphone, anywhere and at any time, providing processed information in real time, consultable, possibly, through specific applications.

#### LOMBARDY REGION

Since October 31<sup>st</sup> 2016, the regional Agency for the Agriculture and Forest Services of Lombardy (ERSAF), based on the weather information of Environmental Protection Agency of Lombardy (ARPA Lombardy), has carried out the "Nitrate Bulletin".

The information support is based on:

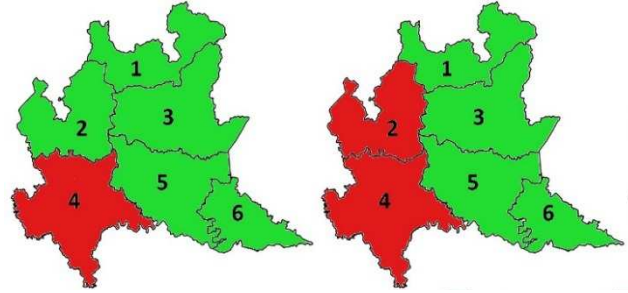
- 6 soil stations of the regional network ARMOSA, dedicated to monitor the behavior of nitrogen and phosphorous in soil-climate-crop systems to obtain data for the soil water balance;
- daily data on rainfall, temperature, wind, solar radiation, relative humidity and evapotranspiration of the reference agrometeorological stations covering the Lombardy;
- weather forecast for the next 3-4 days based on ECMWF and COSMO (7 km grid) weather models. The reference rainfall threshold has been set at 5mm cumulated average in 24 hours.

The integrated analysis of soil and agrometeorological data identify 6 macro-areas, each one defined by a dominant soil and a reference meteorological station. Green and red colors

define the permission or the ban to spread livestock manure in each macro-area (Fig. 1).

*Fig. 1 – The 6 meteorological macro-areas of Lombardy: green – possibility to spread; red prohibition to spread livestock manure.*

*Fig. 1 – Le 6 macro-aree meteorologiche della Lombardia: in verde – possibilità di distribuire; in rosso – divieto di*



*distribuire effluenti di allevamento.*

The m-app for the implementation of the nitrate directive in Lombardy gives the opportunity to the farmers to get updated concerning the legislative references. The users can identify the municipality and get the information about the ban every 3/4 days. In the nitrate app (Fig. 2) has been implemented also the information about the *Accordo Aria* limitations: a deal among the regions of North Italy developed to limit the increasing of the concentration of PM10 resulting from ammonia emissions. ERSAF has already developed other applications for smartphones as the Agrometeorological Bulletin: issued weekly, it provides useful information for the farm management activities. It holds the meteorological data of the last week together with the weather forecast for the next days and an update on the phenological information and on the phytopathological conditions of the main crops of our territory. The weather forecast is provided by ARPA Lombardia.

#### VENETO REGION

The first agrometeorological app, realized by ARPAV – DRST Meteorological Service, concerns the application of the Nitrates directive. The legislation provides that during the period of winter prohibition of spreading there is the possibility of its suspension based on meteorological trends and weather forecasts.

To evaluate the presence of suitable or unsuitable conditions for the manure spreading in winter, two sources of information were considered: the data of the stations of the ARPAV network, to assess albeit roughly, the soil moisture based on previous precipitations and the meteorological model EPS (Ensemble Prediction System) produced at the ECMWF to estimate the amount of precipitation expected in the following days. Veneto has been divided into 15 homogeneous macro-areas and each of them has been associated, therefore, with rainfall stations and forecasting points of the meteorological model (Fig. 3). The data relating to the previous rains are those recorded in the previous 3 days and up to the time of issue of the bulletin. The necessary condition to suspend the prohibition of distribution is that the average precipitation value in stations located within the meteorological macro area of interest is equal to or less than 10 mm cumulative.



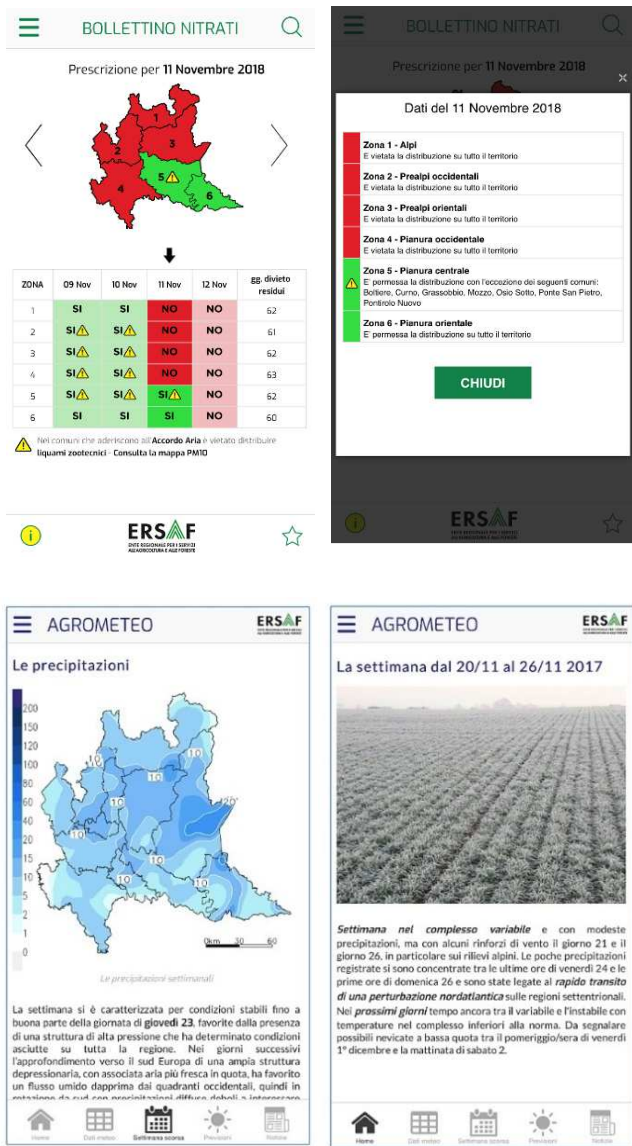


Fig. 2 – Some example of the m-apps Nitrate and Agrometeorology of Lombardy.

Fig. 2 – Qualche esempio delle app Nitrati e Agrometeo della Lombardia.

The forecasting system is composed of a package of models (51) that represent a swarm of variants of the main forecast (deterministic model) obtained by modifying the initial accordingly conditions. These variants of the model are considered equiprobable; of each of the 51 models the cumulative precipitation forecast from the time of issue of the bulletin to the following 3 days is taken into consideration. The results obtained are translated into a probability of exceeding the 10 mm cumulative precipitation threshold over the entire period.

The possibility of spreading is only granted if the soils at the time the bulletin is dry; and that the moisture of the soil are maintained for at least another 3 days. The result of this evaluation process is produced for each municipality in the region and published on the ARPAV website. With the m-app it is possible to access the information's directly with the mobile phone. The m-app has a municipal value and, for the municipalities that are partially included in the Nitrate Vulnerable Areas of agricultural origin, there are two bulletins, one indicative of the municipal portion included in the Ordinary Zone (ZO) and one for the part included in the

Vulnerable Zone to the nitrates of agricultural origin (ZVN). The bulletin is produced daily between November 1<sup>st</sup> and

### Agrometeo Nitrati

Bollettino di: Martedì 21 Febbraio 2017 alle ore 13

Periodo di emissione: 1 novembre - 28 febbraio

Vai alla legenda / Guida alla lettura

Versione PDF

Consulta l'archivio

	Belluno	Padova	Rovigo	Treviso	Venezia	Verona	Vicenza
ZONA							
Affè	ZVN	F					97 / 16
Albaredo d'Adige	Z.O.						
Angiari	Z.O.						
Arcole	ZVN	NI					100 / 13
Badia Calavena	ZVN	F					97 / 16
Bardolino	ZVN	F					97 / 16
Belfiore	Z.O.						
Bevilacqua	Z.O.						
Bonavigo	Z.O.						
Boschi Sant'Anna	Z.O.						
Bosco Chiesanuova	ZVN	F					97 / 16
Bovolone	Z.O.						



Fig. The

3 - 15

Veneto macro-areas and an example of the "Agrometeo Nitrati" bulletin as it appears on ARPAV's website.

Fig. 3 - Le 15 macro-aree meteorologiche del Veneto e un esempio del bollettino Agrometeo Nitrati così come appare sul sito web dell'ARPAV.

February 28<sup>th</sup> of each year and indicates, in a binding way, if you can distribute the manure on the day of consultation and the following days. It is also reported the weather trend for another 2 days. The bulletin is made up of different boxes: in the two largest ones are reported binding indications on the possibility or not of spreading and in the two smaller boxes there are indications on the possibility of distribution for a further two days to be confirmed or not with the publication of subsequent bulletins. To facilitate the immediate interpretation of the bulletin, the boxes are also associated with a color with a precise meaning. Because the m-app gives the option to recall the bulletins already issued the authority use this function for monitoring and control purposes (Fig. 4).



Fig. 4 – An example of the m-app "Agrometeo Nitrati" of Veneto.

Fig. 4 – Un esempio della app Agrometeo Nitrati del Veneto.

ARPAV has already developed other applications for smartphones and among others that may have an interest in agro-meteorology we want to remember:

- APP ARPAV METEO through which you can access the weather forecast by selecting the municipality of interest.
- ARPAV AIR QUALITY APP through which the Ozone and PM10 levels detected in the ARPAV monitoring stations located in the regional territory can be viewed.
- ARPAV THUNDERSTORMS APP will soon be available, which uses an automatic radar data analysis system to sign the proximity of intense rainfall; the signal is made through automatic notifications, which warn of the presence of heavy rainfall within a certain distance from a municipality of interest to the user.

### Results and Discussion

The objective of Ministerial Decree February 25<sup>th</sup> 2016 and consequently of nitrate bulletins is to manage manure distributions in a more adhering manner to meteorological conditions and soil water content.

Since the m-apps were implemented and made available for the farmers an increase about the 20% in the user's number has been recorded.

### Conclusions

The m-apps described are an example of a modern agrometeorological application that drift from a specific regulatory requirement to improve the management of the livestock manure spreading from the environmental and business point of view.

### References

Antolini G., Benatti N., Botarelli L., Cassanelli G., Di Giacomo E., Laruccia N., Marletto V., Pasquali A., Praticelli W., Siviero F., 2016. Web service of the Emilia-Romagna for the reduction of the risk of nitrogen fertilizers being diluted.

“Nuove avversità e nuovi servizi per gli agroecosistemi”, Proceedings AIAM Conference, June 14-16<sup>th</sup> 2016 Bologna. Commissione Europea, 1991. Direttiva relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, nr. 676.

Masuki K. F., Kamughisha R., Mowo J. G., Tanui J., Tukahirwa J., Mogoi J. and Adera E. O., 2010. Role of mobile phones in improving communication and information delivery for agricultural development. ICT and Development – Research Voices from Africa. International Federation for Information Processing (IFIP).

Qiang C.Z., Kuek S. C., Dymond A., Esselaar S., 2012 Mobile Applications for Agriculture and Rural Development-[openknowledge.worldbank.org](http://openknowledge.worldbank.org).

Ntaliani M. S., Costopoulou I. C., Karetos S. T., Tambouris E. G., 2008. A framework for deploying agricultural e-government services. International Conference HAICTA 2008.

Repubblica Italiana, 1999. Ministerial Decree: Codice di Buona Pratica Agricola – CBPA;

Repubblica Italiana, 2006. Legislative Decree nr. 152.

Repubblica Italiana, 2016. Ministerial Decree: “Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue, nonché per la produzione e l'utilizzazione agronomica del digestato”.

Regione Lombardia, 2016. Decree of Regional Agriculture Directorate nr. 10607: “Individuazione dei divieti temporali di utilizzazione agronomica nella stagione autunno vernina 2016/2017 in applicazione del DM 25 febbraio 2016”;

Regione Veneto, 2016. Resolution of the President of the Regional Council nr. 1835.

World Bank, 2012. Mobile applications for agriculture and rural development. Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/167301467999716265/Mobile-applications-for-agriculture-and-rural-development/>.

# IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON WATER RESOURCES AVAILABILITY

## EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA DISPONIBILITÀ DI RISORSA IDRICA

Paolo Olivo<sup>1</sup>, Daniela Iervolino<sup>1</sup>, Andrea Cicogna<sup>2\*</sup>, Stefano Barbieri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Reg. Autonoma Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale ambiente ed energia - Area tutela geologico-idrico-ambientale-Servizio gestione risorse idriche

<sup>2</sup>ARPA-FVG – S.O.C. Osmer, Via Natisone, 43, 33057 Palmanova (UD) -

<sup>3</sup>ERSA –FVG – Servizio fitosanitario e chimico, ricerca, sperimentazione e assistenza tecnica Via Sabbatini, 5, 33050 Pozzuolo del Friuli (UD)

\*andrea.cicogna@arpa.fvg.it

### Abstract

In the present paper climate change impact on water utilization in Friuli Venezia Giulia is examined. Five mathematical models, selected among EURO-CORDEX and MED-CORDEX programmes concerning RCP 2.6, 4.5 and 8.5 emission scenarios, have been used to predict future changes and challenges. Two different prediction timeframes (2021-2050 and 2071-2100) and a reference past period (1976-2005) have been taken into consideration.

Climate data have been used to run a water balance model on a regional basis. Simulation results show that climate changes could lead to an increase in the average annual volume of water assured to the soil.

Availability of water would increase during winter, on the contrary a remarkable reduction would be expected in summer. Reduction in snow precipitations is also predicted. Model simulations show an increased demand in water to be used for irrigation purposes. These results could also affect groundwater recharge mechanism of the unconfined High plains water table which, in particular, has changed in the “business as usual” scenario, where a reduction in total annual recharge along with a remarkable decrease during summer are observed.

### Parole chiave

Friuli Venezia Giulia, Cambiamenti Climatici, Bilanci Idrici Territoriali

### Keywords

Friuli Venezia Giulia, Climate Change, Regional Water Balance

### Introduzione

Attualmente ogni anno in Friuli Venezia Giulia vengono prelevati 1.872 milioni di m<sup>3</sup> dalle falde, 173 milioni di m<sup>3</sup> dalle sorgenti e 15.151 milioni di m<sup>3</sup> dai corsi d'acqua (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 2015); quanto derivato viene utilizzato per l'alimentazione della rete acquedottistica, per irrigare, per la produzione di energia idroelettrica, per il funzionamento delle industrie e degli allevamenti ittici e per l'innevamento artificiale

La Fig.1 illustra come sia distribuito tra i diversi usi il prelievo da acque superficiali e sotterranee; in particolare si osserva come la metà dell'acqua derivata dalle acque sotterranee sia destinata all'uso domestico. In questa categoria di uso sono conteggiati tutti quei pozzi ubicati soprattutto nella Bassa Pianura Friulana che siamo abituati a vedere zampillare nei cortili delle case. La possibilità di costruire un pozzo a servizio della propria abitazione per esigenze domestiche, per irrigare l'orto o per l'abbeveraggio degli animali, viene consentita dal legislatore ai cittadini a condizione che l'uso dell'acqua non sia legato ad una attività economica e che non vada a discapito dell'equilibrio della risorsa. Tale uso è talmente radicato nella Bassa Pianura che numerosi Comuni sono attualmente privi di una rete acquedottistica. Purtroppo tale diritto è spesso esercitato senza riflettere sulle conseguenze sull'ambiente, considerato che il prelievo d'acqua da pozzo ad uso domestico è molto superiore (circa 72 volte) al reale fabbisogno (Zini *et al.*, 2011).

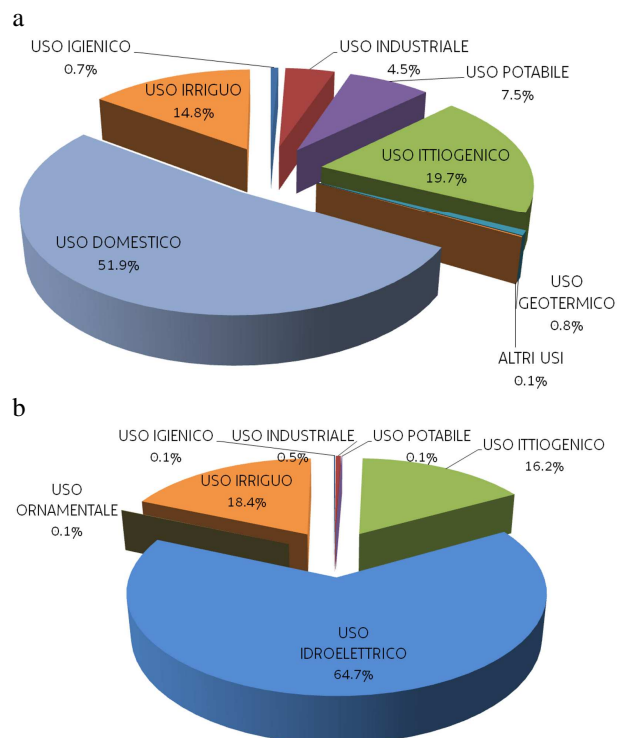


Fig. 1 -- Distribuzione del prelievo da acque sotterranee (a) e da acque superficiali (b).

Fig. 1 - Water withdrawals distribution from groundwater resources (a) and from surface water resources (b)

Non si deve poi dimenticare che l'acqua, oltre ad essere importante per le attività antropiche, è fondamentale per il mantenimento della biodiversità nei corsi d'acqua, oltre ad essere funzionale al paesaggio, al turismo e alle attività di fruizione in generale (es. pesca). Spesso le esigenze tra i vari usi dell'acqua sono contrapposte e allo stato attuale emergono alcune criticità che sono state messe in luce dallo studio "Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia: sostenibilità dell'attuale utilizzo" (Zini *et al.*, 2011) che ha analizzato le risorse idriche regionali nella loro globalità sia dal punto di vista geologico (individuazione e caratterizzazione degli acquiferi) che idrogeologico/idrologico (portata dei corsi d'acqua, ricarica, deflussi, ubicazione dei punti di prelievo, consumi, redazione del bilancio idrogeologico).

La definizione del bilancio delle risorse idriche elaborato all'interno del suddetto studio ha evidenziato un impoverimento delle falde freatiche e artesiane, in particolare nella Pianura in Destra Tagliamento. Le conseguenze sono tangibili: depressurizzazione degli acquiferi artesiani, arretramento verso valle della fascia delle risorgive e "richiamo" di acqua con caratteristiche qualitativamente meno buone dalla falda freatica di Alta Pianura verso gli acquiferi artesiani pregiati.

Questo squilibrio è da imputare essenzialmente alla mancata ricarica delle falde acquifere a causa della presenza dei grandi sbarramenti idroelettrici/irrigui a ridosso dello sbocco in pianura dei fiumi Cellina e Meduna e all'ingente estrazione di acqua dalla falda artesiane nella Bassa Pianura.

Scopo del presente lavoro è quello di comprendere come potrà modificarsi nel futuro la disponibilità di risorsa idrica e dunque valutare l'impatto dei cambiamenti climatici sull'attuale utilizzo dell'acqua.

## Materiali e Metodi

L'impatto dei cambiamenti climatici sulla disponibilità di risorsa idrica è stato valutato analizzando le varie componenti del ciclo dell'acqua. Tale analisi è importante al fine di quantificare la consistenza delle risorse idriche disponibili e pertanto rappresenta l'analisi conoscitiva fondamentale per pianificare una gestione sostenibile della risorsa stessa. Nel presente studio il ciclo dell'acqua è stato riprodotto attraverso la realizzazione di un modello idrologico che ha permesso di confrontare lo scenario storico con i diversi scenari di proiezione futura.

Allo scopo di simulare il ciclo dell'acqua, il territorio regionale è stato suddiviso in celle quadrate di lato pari a 500 metri. Per ciascuna cella è stata risolta l'equazione di conservazione della massa che rappresenta sinteticamente il ciclo dell'acqua:

$$\Delta V = P_{\text{tot}} - E_r - R - \text{Inf} + f$$

dove:

$\Delta V$  = variazione del volume d'acqua immagazzinato nel terreno;

$P_{\text{tot}}$  = quantitativo d'acqua di precipitazione;

$E_r$  = quantitativo d'acqua di evapotraspirazione reale;

$R$  = quantitativo d'acqua di ruscellamento superficiale;

$\text{Inf}$  = quantitativo d'acqua di infiltrazione efficace;

$f$  = quantitativo d'acqua da risalita di falda.

La soluzione dell'espressione è stata affidata ad un codice di calcolo appositamente sviluppato: sulla base dei dati giornalieri di pioggia, temperatura e del coefficiente culturale ( $K_c$ ) forniti per ogni elemento della griglia che rappresenta il territorio regionale, il software modella il ciclo idrologico a passo giornaliero, fornendo come risultati finali le medie mensili sul periodo di osservazione dei parametri idrologici di studio.

In ingresso al modello sono state utilizzate le serie di precipitazione e temperatura minima, media e massima di 5 modelli climatici. Per ciascun modello sono stati utilizzati i dati del periodo storico (1976-2005) e di due periodi futuri (2021-2050 e 2071-2100), ciascuno per tre scenari (RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5) per un totale di 35 simulazioni.

Per la descrizione dei modelli e degli scenari si rimanda a ARPA-FVG 2018 così come per la metodologia adottata per l'interpolazione su ognuna delle celle di calcolo dei modelli climatici di precipitazione, temperatura minima, media e massima.

Un ruolo centrale in questo tipo di simulazioni è affidato al terreno che nel presente lavoro è stato modellato come un serbatoio che si riempie d'acqua in funzione della precipitazione, tenuto conto dell'accumulo e fusione nivale e al netto del ruscellamento, e della risalita di falda se presente, e si svuota a causa dell'evapotraspirazione e dell'infiltrazione profonda.

Il contenuto d'acqua disponibile nel terreno (AWC), può variare da un minimo di 0 fino ad un valore massimo (AWCmax) che dipende, fra l'altro, dalle caratteristiche pedologiche del suolo e dallo spessore dello strato di terreno. Le caratteristiche pedologiche sono state stimate per ogni cella di calcolo a partire dai dati forniti dal Servizio fitosanitario e chimico, ricerca, sperimentazione e assistenza tecnica dell'ERSA (Michelutti *et al.*, 2003, Michelutti *et al.*, 2006, Rusco *et al.*, 2003).

Nella modellazione del terreno si è tenuto conto anche della profondità massima del suolo esplorabile dalle radici, che dipende dalla tipologia culturale, ed è stata stimata per ogni cella di calcolo.

Il contenuto d'acqua del terreno condiziona l'evapotraspirazione delle colture, la quale viene limitata dalla riserva d'acqua facilmente estraibile dal suolo (riserva facilmente utilizzabile - RFU) che si può stimare essere pari a circa il 60% dell'AWCmax. Al di sotto di questa quota la pianta comincia a ridurre i consumi fino ad azzerarli quando l'AWC è pari a zero.

Di seguito si descrive brevemente il modo in cui le singole componenti del ciclo idrologico sono state modellate nel codice di calcolo.

### Componente di precipitazione

Per la stima della componente di precipitazione sono stati utilizzati direttamente i dati dei modelli climatologici interpolati secondo quanto descritto sopra.

Nei bacini montani è di particolare rilevanza distinguere tra precipitazione piovosa ( $P_{\text{piovogia}}$ ) e nevosa ( $P_{\text{neve}}$ ), e, di conseguenza, risulta fondamentale riprodurre il fenomeno di accumulo e fusione nivale al fine di ottenere una corretta modellazione dei processi idrologici. Il metodo utilizzato è basato sulla temperatura media dell'aria che è confrontata con due soglie di temperatura (U.S. Army Corps of Engineers, 1956): quando la temperatura media dell'aria risulta maggiore della soglia superiore la precipitazione è classificata come piovosa. Viceversa al di sotto della soglia inferiore la precipitazione è identificata come nevosa. Infine se la temperatura è compresa tra le due soglie, la precipitazione viene considerata di tipo misto. La precipitazione nevosa viene quindi accumulata sulla cella di calcolo finché le condizioni climatiche non sono tali da determinarne la fusione.

La fusione nivale viene calcolata in funzione della differenza tra la temperatura del manto nevoso e una temperatura soglia (Neitsch *et al.*, 2005). La componente di neve fusa viene quindi aggiunta al bilancio idrico della cella.

A conclusione delle operazioni di calcolo descritte si determina quindi per ciascun giorno di simulazione la precipitazione che effettivamente affluisce al suolo (Aff).

### Componente di evapotraspirazione

La componente di evapotraspirazione dipende da numerosi fattori, tra i quali: l'evaporazione di riferimento, la tipologia colturale, ed eventuali fenomeni di stress idrico.

L'evapotraspirazione di riferimento ( $ET_0$ ) viene definita come evapotraspirazione da una superficie a prato, alta 8-15 cm, uniforme e completamente ombreggiante il terreno, non sottoposta a stress idrico (Doorenbos and Pruitt, 1977).  $ET_0$  è pertanto un parametro tipicamente climatico in quanto esprime la tendenza a traspirare di una determinata superficie vegetale in funzione dei soli parametri climatici. Per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento è stata utilizzata la formula di Hargreaves - Samani (Allen *et al.*, 1998).

Per tener conto della tipologia colturale e derivare pertanto l'evapotraspirazione colturale, l'evapotraspirazione di riferimento è stata moltiplicata per un coefficiente ( $K_c$ ) che ingloba e sintetizza tutti gli effetti sull'evapotraspirazione legate alle caratteristiche morfo-fisiologiche delle diverse specie, alla fase fenologica, al grado di copertura del suolo che le rendono differenti dalla coltura di riferimento. I coefficienti  $K_c$  sono stati determinati per ciascuna cella di calcolo e per ogni decade dell'anno, al fine di rappresentare le differenti tipologie vegetazionali diffuse sul territorio regionale e per descrivere la variabilità della fase fenologica.

Per tener conto di condizioni non ottimali di disponibilità idrica nel suolo, e quindi al fine di riprodurre situazioni di stress delle colture, l'evapotraspirazione colturale è stata ridotta secondo un fattore, variabile tra 0 e 1, proporzionale al contenuto d'acqua presente nel terreno nel giorno di simulazione. In questo modo si ottiene l'evapotraspirazione reale ( $ET_r$ ).

### Componente di ruscellamento superficiale

Il calcolo della componente di ruscellamento superficiale (R) è stato effettuato mediante l'utilizzo della metodologia del Curve Number (Soil Conservation Service, 1972).

Il metodo permette di calcolare il ruscellamento superficiale in funzione di un parametro (CN) che misura sostanzialmente il grado di impermeabilità del suolo e descrive pertanto l'attitudine di un territorio a produrre deflusso superficiale; esso varia da 0 a 100: più alto è il suo valore e maggiore sarà il deflusso prodotto a parità di precipitazione. Il parametro CN è stato stimato per ogni cella di calcolo a partire da una mappa di uso del suolo (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 2003) e dalla carta geo-litologica della Regione, utilizzando la tabella di conversione gruppi idrologici - litologia fornita dal progetto Catchrisk (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 2005), opportunamente modificata tenendo conto delle conclusioni di Cucchi *et al.* (2000).

La metodologia tiene conto anche delle condizioni idrologiche del giorno precedente che influenzano il grado di saturazione del terreno (Kannan *et al.*, 2008) e quindi il ruscellamento superficiale.

### Componente di infiltrazione

La componente di infiltrazione profonda (Inf) è stata calcolata come quota d'acqua eccedente rispetto all'AWCmax.

### Componente di risalita di falda

La componente di risalita di falda (f) è stimata per ogni cella di calcolo sulla base dei dati forniti dal Servizio fitosanitario e chimico, ricerca, sperimentazione e assistenza tecnica di ERSAs.

Il calcolo è stato effettuato nell'ipotesi di mantenere invariati l'uso del suolo e il panorama colturale sia nello scenario storico che negli scenari futuri.

Per la valutazione dell'impatto del cambiamento climatico, i risultati del modello sono stati aggregati, oltre che per l'intero territorio regionale, anche secondo i seguenti macroareali, individuati sulla base delle caratteristiche idrogeologiche del territorio regionale: area montana, Alta Pianura e Bassa Pianura (Fig. 2).



Fig.2  
Macroareali nei quali è stato valutato l'impatto dei cambiamenti climatici.

Fig. 2  
Macro-areas in which the impact of climate change has been assessed



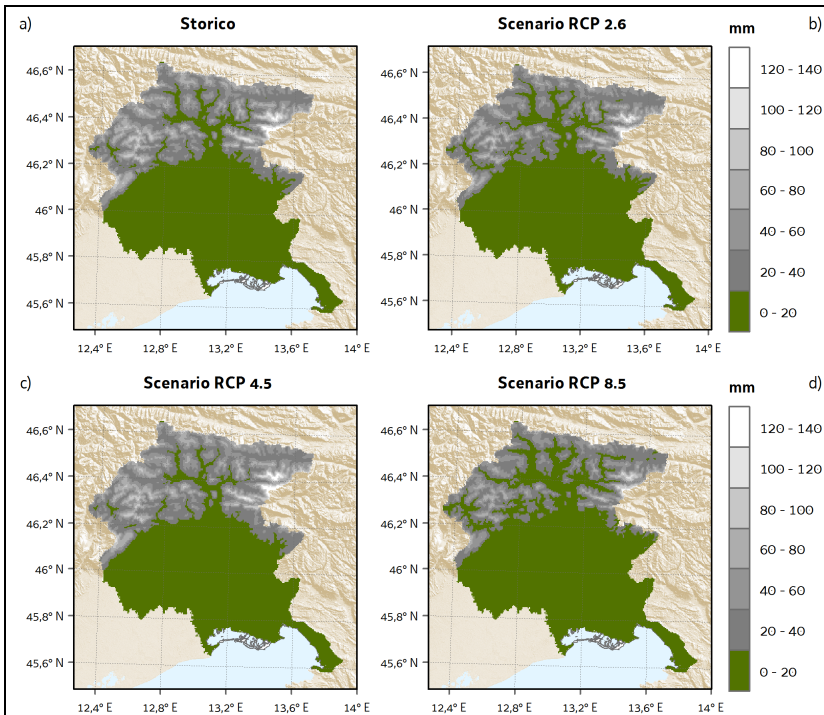


Fig. 3 Distribuzione nei mesi invernali della componente precipitazione nevosa per diversi scenari: storico (a), 2021-2050 RCP 2.6 (b), 2021-2050 RCP 4.5 (c) e 2021-2050 RCP 2.5 (d).

Fig. 3 - Winter distribution of snow precipitation for different scenarios: historical (a), 2021-2050 RCP 2.6 (b), 2021-2050 RCP 4.5 (c) e 2021-2050 RCP 2.5 (d)

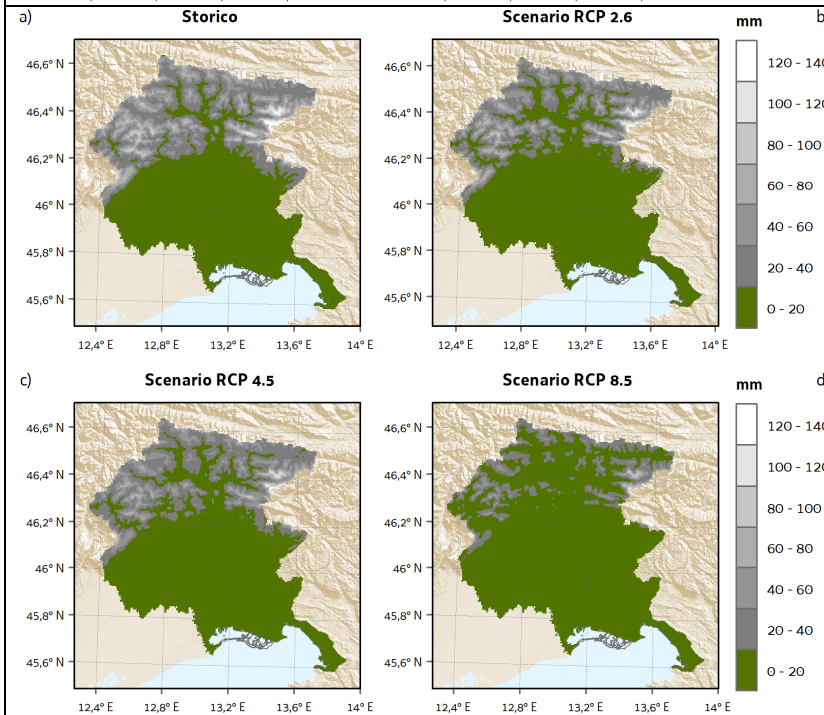


Fig. 4 - Distribuzione nei mesi invernali della componente precipitazione nevosa per diversi scenari: storico (a), 2071-2100 RCP 2.6 (b), 2071-2100 RCP 4.5 (c) e 2071-2100 RCP 2.5 (d).

Fig. 4 - Winter distribution of snow precipitation for different scenarios: historical (a), 2071-2100 RCP 2.6 (b), 2071-2100 RCP 4.5 (c) e 2071-2100 RCP 2.5 (d).

## Risultati

La modellazione del ciclo idrologico ha reso disponibili le proiezioni future e lo scenario storico delle seguenti componenti: Precipitazione totale ( $P_{tot}$ ), Precipitazione nevosa ( $P_{neve}$ ), Precipitazione piovosa ( $P_{pioggi}$ ), Afflusso al suolo (Aff), Temperatura media ( $T_{media}$ ), Evapotraspirazione di riferimento (ET<sub>0</sub>), Evapotraspirazione reale (ET<sub>r</sub>), Ruscigliamento (R), Infiltrazione (Inf).

Il calcolo delle singole componenti del ciclo dell'acqua ha altresì permesso di quantificare:

- il numero di giorni in cui le coltivazioni subiscono uno stress idrico (D<sub>stress</sub>) ovvero i giorni in cui l'AWC scende sotto a RFU;
- il deficit evapotraspirativo (Deficit) ovvero il volume d'acqua mancante rispetto all'evapotraspirazione culturale. Questa informazione quantifica la carenza di acqua sofferta dalla vegetazione nei periodi di stress idrico.



Considerata la notevole mole di dati prodotti dalle numerose simulazioni effettuate, per una trattazione più esaustiva si rimanda a ARPA – FVG 2018

### Discussione

Il confronto tra i valori medi mensili che potrebbero verificarsi nei due periodi futuri con il dato storico, evidenzia cambiamenti particolarmente significativi nel periodo 2071 – 2100 in particolare per lo scenario 8.5.

L'aumento generale della temperatura media, è particolarmente significativo nelle aree montane: secondo le proiezioni dei modelli climatologici, in montagna la temperatura media aumenta assestandosi costantemente su valori superiori allo zero (ARPA FVG 2018).

Di conseguenza, il predetto aumento di precipitazione nei mesi invernali non si traduce in un corrispondente aumento della precipitazione nevosa, che invece diminuisce in maniera sensibile soprattutto verso la fine del secolo, ma nell'aumento dell'afflusso al suolo (ARPA FVG 2018).

In particolare si osserva come il mese di gennaio potrebbe assestarsi su valori di afflusso al suolo prossimi a quelli dei mesi primaverili attuali. A tal proposito sono indicative le figure 3 e 4 che mostrano come potrebbe modificarsi la distribuzione della precipitazione nevosa nel periodo invernale sul territorio regionale nei due periodi futuri 2021-2050 e 2071-2100.

I cambiamenti nelle componenti precipitazione e temperatura si riflettono anche sulla componente ruscellamento dove si osserva in generale un aumento dei volumi per tutti gli scenari a cui fa da contrasto una diminuzione nei mesi estivi. Gli scenari relativi al periodo 2071-2100 enfatizzano l'andamento non omogeneo durante l'anno della variazione: nei mesi invernali si assiste ad un aumento particolarmente significativo del volume di ruscellamento, che nello scenario RCP 8.5 arriva a circa il 110%, cui si contrappone, nel medesimo scenario, una riduzione media di circa il 30% nel periodo estivo (Fig. 5). Pertanto è plausibile aspettarsi una minore portata dei corsi d'acqua in estate che, in combinazione con il possibile aumento delle temperature anche di 5°C nel periodo estivo e in area montana, potrebbe causare una possibile sofferenza degli habitat legati all'acqua, ma anche una conseguente minor disponibilità di risorsa idrica per la produzione di energia idroelettrica e per l'agricoltura.

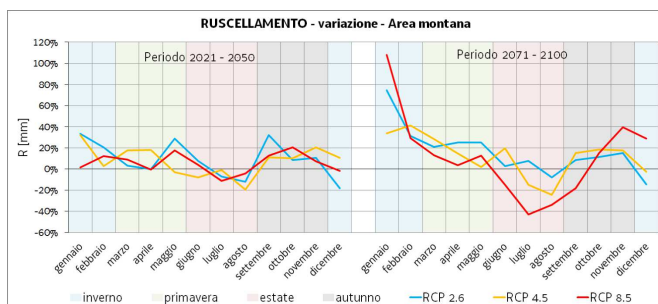


Fig. 5 – Variazione della componente ruscellamento nell'area montana rispetto al dato storico.

Fig. 5 – Variation of the runoff in the mountain area compared to the historical data

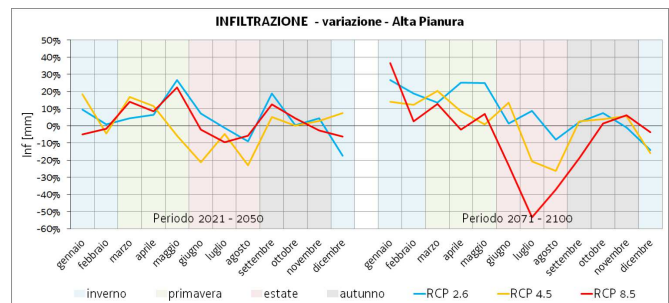


Fig. 6 – Variazione della componente infiltrazione in Alta Pianura rispetto al dato storico.

Fig. 6 – Variation of the infiltration value in the High Plain area compared to the historical data

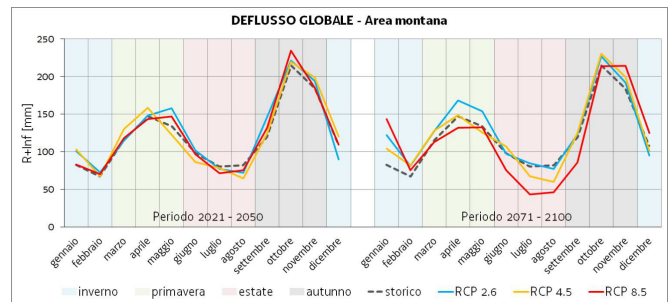


Fig. 7 – Valore medio mensile della componente deflusso globale nell'area montana.

Fig. 7 – Averaged monthly outflow in the mountain area

Dal punto di vista della disponibilità di acque sotterranee, la falda freatica dell'Alta Pianura friulana ha un ruolo chiave sia come riserva di acqua sia come "regolatore" della pressione delle falde artesiane della Bassa Pianura.

La ricarica di questo complesso idrogeologico è costituita dalla componente infiltrazione e dalla portata dispersa dai corsi d'acqua allo sbocco in pianura. Per quanto riguarda la componente infiltrazione, in Alta Pianura, si osserva un aumento del volume annuo infiltrato nello scenario RCP 2.6 e una lieve diminuzione del volume annuo infiltrato nello scenario RCP 8.5. Anche in questo caso si riscontra una differente distribuzione durante l'anno rispetto allo storico (Fig. 6). In particolare risulta particolarmente evidente il possibile calo nel periodo estivo per lo scenario RCP 8.5. Per quanto riguarda le dispersioni dai corsi d'acqua alcune valutazioni possono essere fatte analizzando la somma delle componenti ruscellamento e infiltrazione dell'area montana che rappresentano il deflusso idrico globale ovvero la massima potenzialità espressa in termini di volume disponibile (Fig. 7). L'esame conferma un andamento analogo a quanto osservato per la componente infiltrazione in Alta Pianura sia a scala annuale che a scala stagionale.

I cambiamenti osservati nelle diverse componenti del ciclo dell'acqua hanno come diretta conseguenza un aumento dei giorni in cui le coltivazioni subiscono uno stress idrico (Fig. 8) e un aumento del deficit evapotraspirativo in particolare nei mesi estivi (Fig. 9 e Fig. 10). Complessivamente, in pianura, nello scenario RCP 8.5 il periodo di stress idrico

delle colture potrebbe aumentare anche di 5/6 giorni nel periodo 2071-2100 con la conseguente necessità di aumentare la frequenza dell'irrigazione. La diminuita disponibilità di acqua per la vegetazione non riguarda però la sola agricoltura, ma coinvolge anche parte del territorio montano e dunque il patrimonio boschivo (figure non mostrate).

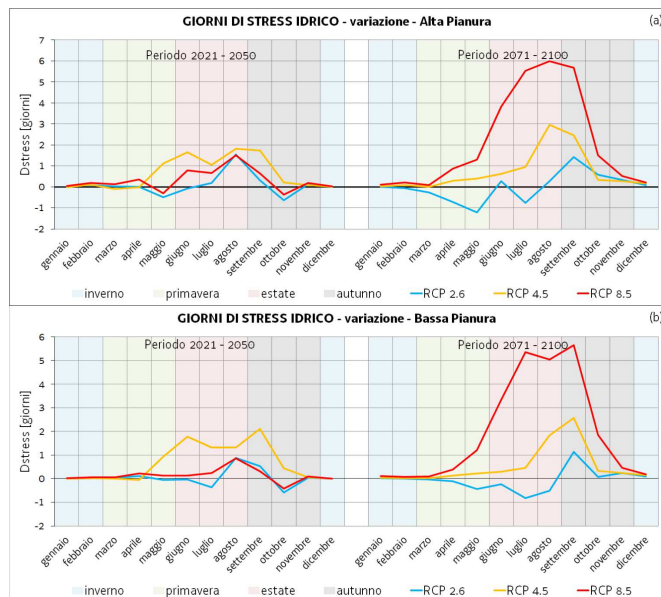


Fig. 8 – Variazione della componente giorni di stress idrico rispetto al dato storico in Alta Pianura (a) e in Bassa Pianura (b).

Fig. 8 – Variation of the days of water stress in the High Plain (a) and in the Low Plain (b) compared to the historical data

## Conclusioni

Dai risultati della modellazione emerge come l'impatto dei cambiamenti climatici sulla disponibilità di risorsa idrica potrebbe portare ad un aumento complessivo, in termini di volume medio annuo, del quantitativo d'acqua affluito al suolo; tale aumento, tuttavia, risulta maggiore per lo scenario 2.6 e molto piccolo per lo scenario 8.5. È inoltre particolarmente significativo l'andamento non omogeneo durante l'anno della variazione: nei mesi invernali si assiste ad un aumento della risorsa disponibile, cui si contrappone nei mesi estivi un significativo calo, particolarmente evidente per lo scenario 8.5. Tale andamento risulta accentuato negli scenari relativi al periodo 2071-2100. Si osserva inoltre una riduzione delle precipitazioni di tipo nevoso, a causa dell'aumento di temperatura, ed un conseguente aumento di quelle di tipo piovoso.

Evidente anche l'effetto dell'aumento della temperatura media sulla vegetazione: si osserva infatti una maggiore esigenza evapotraspirativa con un aumento dei giorni in cui le coltivazioni subiscono uno stress idrico che è necessario compensare con una maggiore irrigazione. La maggiore necessità di irrigazione combinata a un'inferiore disponibilità di risorsa idrica per i corsi d'acqua, nel periodo estivo, potrebbe rendere difficoltoso l'approvvigionamento per l'agricoltura, in particolare

nell'Alta Pianura in sinistra Tagliamento, dove il quantitativo di acqua disponibile per l'irrigazione dipende direttamente dalla portata del Fiume Tagliamento.

Quanto osservato si riflette anche sul meccanismo di ricarica della falda freatica dell'Alta Pianura che è modificato in particolare nello scenario 8.5, dove si assiste ad una diminuzione della ricarica complessiva annua unita a un marcato calo nel periodo estivo. Pertanto, considerate le criticità già emerse allo stato attuale (Zini *et al.*, 2011) risulta auspicabile un miglioramento nella gestione della risorsa idrica puntando innanzitutto ad annullare il divario tra la portata effettivamente prelevata e il reale fabbisogno.

## Bibliografia

- ARPA-FVG 2018 "Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia" pp. 342 [http://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/01\\_REPORT\\_cambiamenti\\_climatici\\_e\\_impatti\\_per\\_il\\_FVG/impattiCCinFVG\\_marzo2018.pdf](http://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/01_REPORT_cambiamenti_climatici_e_impatti_per_il_FVG/impattiCCinFVG_marzo2018.pdf)
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998 - Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations ([www.fao.org/docrep](http://www.fao.org/docrep))
- Cucchi F., Piano C., Marinetti E., Massari G., Oberti S., Zini L. 2000 - Studies for the realization of the Hydrogeological map of Friuli Venezia Giulia. Ipogea, 3: 57-71
- Kannan N., Santhi C., Williams J. R., Arnold J. G. 2008 - Development of a continuous soil moisture accounting procedure for curve number methodology and its behavior with different evapotranspiration methods. Hydrological Processes, 22, 2114–2121. doi:10.1002/hyp.6811.
- Michelutti G., Barbieri S., Bianco D., Zanolla S., Casagrande G. 2006. Suoli e paesaggi del Friuli Venezia Giulia - 2. Province di Gorizia e Trieste. ERSA, Servizio ricerca e sperimentazione, (volume 648 pp. con allegata Carta dei suoli).
- Michelutti G., Zanolla S. e Barbieri S. 2003. Suoli e paesaggi del Friuli Venezia Giulia - 1. Pianura e colline del pordenonese. ERSA, Servizio della sperimentazione agraria, (volume 510 pp. con allegata Carta dei suoli).
- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R. 2005 - SWAT: Soil and Water Assessment Tool. Theoretical documentation. Texas A&M University.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia 2003 - Progetto MOLAND-FVG sul consumo ed uso del territorio nel Friuli Venezia Giulia. Direzione regionale della pianificazione territoriale, realizzazione a cura del CCR della Commissione Europea, Ispra (VA).
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia 2015 – Progetto di Piano di Tutela delle Acque. Direzione centrale ambiente ed energia.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia 2005 - La prevenzione del rischio idrogeologico nei piccoli bacini montani della regione: esperienze e conoscenze acquisite con il progetto CATCHRISK. Direzione centrale risorse

agricole, naturali, forestali e montagna servizio territorio montano e manutenzioni.

Rusco E., Filippi N., Marchetti M., Montanarella L. 2003. Carta Ecopedologica d'Italia scala 1:250.000 Relazione divulgativa a cura di: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. EUR 20774 IT, 45, 10 Maps and extended legend. Office of the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.  
Soil Conservation Service 1972 - Section 4: Hydrology; in

National Engineering Handbook. SCS.

U.S. Army Corps of Engineers 1956 - Snow hydrology, summary report of the snow investigations. In Technical report, U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon, 1956.

Zini L., Calligaris C., Treu F., Iervolino D., Lippi F. (a cura di), 2011 – Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia: sostenibilità dell'attuale utilizzo. Edizioni EUT, 89 pp., Trieste, 978-88-8303-314-8.

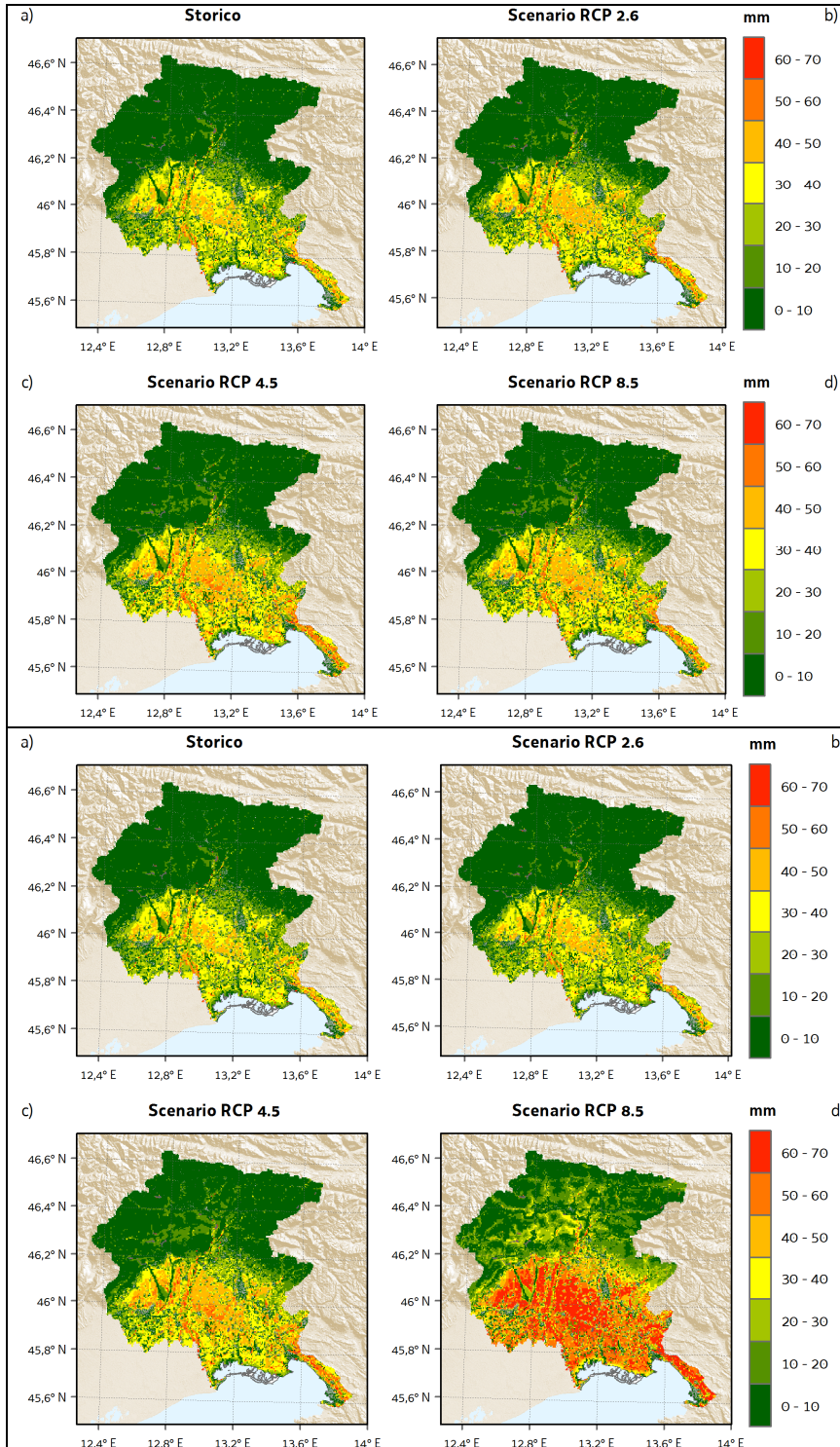


Fig. 9 – Distribuzione nei mesi estivi della componente deficit evapotraspirativo per diversi scenari: storico (a), 2021-2050 RCP 2.6 (b), 2021-2050 RCP 4.5 (c) e 2021-2050 RCP 2.5 (d).

Fig. 9 - Summer distribution of evapotranspirative deficit for different scenarios: historical (a), 2021-2050 RCP 2.6 (b), 2021-2050 RCP 4.5 (c) e 2021-2050 RCP 2.5 (d).

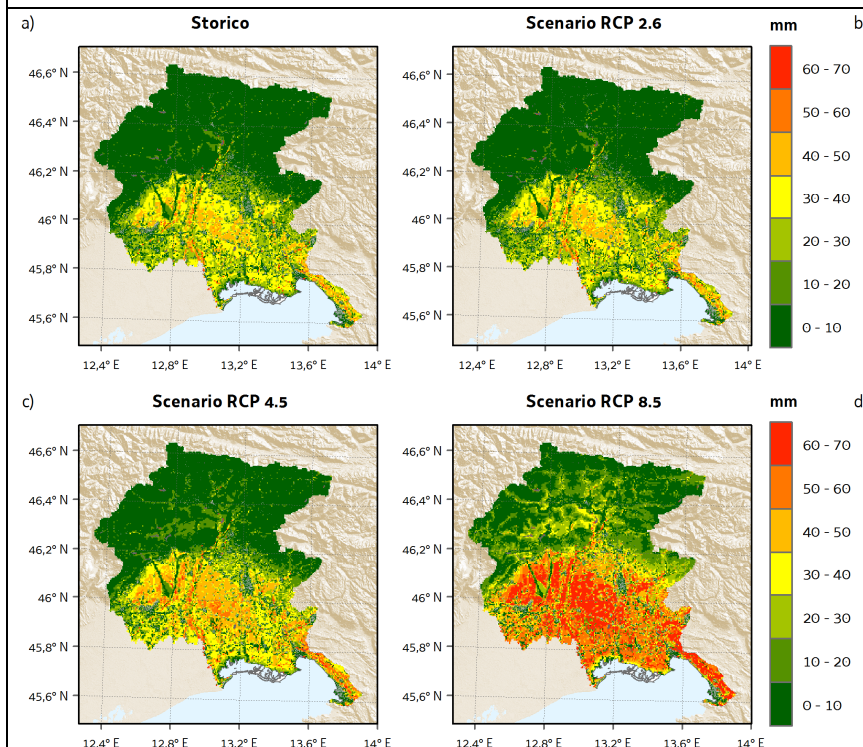


Fig. 10 – Distribuzione nei mesi estivi della componente deficit evapotraspirativo per diversi scenari: storico (a), 2071-2100 RCP 2.6 (b), 2071-2100 RCP 4.5 (c) e 2071-2100 RCP 2.5 (d).

Fig. 10 – Summer distribution of evapotranspirative deficit for different scenarios: historical (a), 2071-2100 RCP 2.6 (b), 2071-2100 RCP 4.5 (c) e 2071-2100 RCP 2.5 (d).



# WATER FOOTPRINT, GREEN AND BLUE WATER USE FOR INDUSTRIAL TOMATO CULTIVATED IN PUGLIA

## IMPRONTA IDRICA, CONSUMI DI ACQUA VERDE E BLU NELLA COLTIVAZIONE DEL POMODORO DA INDUSTRIA IN PUGLIA

Domenico Ventrella<sup>1\*</sup>, Luisa Giglio<sup>1</sup>, Pasquale Garofalo<sup>1</sup>, Anna Dalla Marta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente (CREA-AA), via Celso Ulpiani 5, 70125 Bari, Italy

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente (DISPAA), Università degli Studi di Firenze, piazzale delle Cascine, 18 – 50144 Firenze, Italy

\* corresponding author, domenico.ventrella@crea.gov.it

### Abstract

The model DSSAT CROPGRO was applied in order to simulate the cultivation of industrial tomato and to estimate the green water (GW), blue water (BW), blue water requirement (BWR) and water footprint (WFP) through a dual-step modelling approach. Simulation covered a period of 30 years for three climate scenarios: reference period and two future scenarios based on forecast global average temperature increases of 2 and 5 °C.

The spatial patterns of indicators relating to the whole territory of Puglia region (Southern Italy), characterized by the high evaporative demand of the atmosphere, are discussed and analysed. Considering the climatic pattern, the analysis was developed for three areas (Northern, Central and Southern). Future scenarios affected all indicators significantly, particularly the Northern area, characterized by higher temperature and rainfall anomalies. Under the A5 scenario, compared with the baseline, this area was forecast to have a large increase of BW (+ 30%) and reduction in yield (– 20%). As a consequence, the BWR and WFP were predicted to increase dramatically, up to 40 and >65%, respectively. On the other hand, Central and Southern areas, with lower anomalies of temperature and rainfall, were forecast to be less vulnerable to climate change. The proposed distributed analysis could be important for water policy, allowing most efficient allocation of scarce water resources and concentrating them where the WFP is lowest, or in other words, water use efficiency is highest.

### Keywords

Water resources, Climate change, Spatial modelling

### Parole chiave

Risorse idriche, Cambiamenti climatici, Modellizzazione spaziale

### Introduction

Warming of the climate system is unequivocal, as outlined in the latest IPCC Assessment Reports showing that this phenomenon is largely due to the increased atmospheric concentration of greenhouse gases. The Mediterranean region has been defined as a possible hotspot for the decades to come, by both increasing temperatures and by relatively large changes in the frequency of extreme climatic events regarding temperature and rainfall, with relevant impacts on agricultural production.

It is crucial to assess the effects of future climate change (CC) on crop yield and adaptation and mitigation strategies for coping with CC. For this purpose, crop simulation models have been widely used.

According to Siebert and Doll (2010), the consumptive blue water (BW) is defined as the amount of crop evapotranspiration stemming from irrigation. This water is withdrawn from surface or subsurface water bodies (e.g. streams, reservoirs, etc.). The green water (GW) use is the crop evapotranspiration stemming from rain infiltrated and stored in soil. So under irrigation, the total crop water use is the sum of blue and green water use and corresponds to the total actual crop evapotranspiration.

The assessment of GW and BW for a determined cropping system or crop species is a fundamental step in order to

define the virtual water flows from the area where the crop is cultivated to the region where the crop is processed or consumed with important consequences on water management policy. In other words, a very important aspect of the GW/BW approach concerns the planning of a sustainable use of water resources in agriculture.

The water footprint is defined as the total volume of freshwater used to produce the goods and services consumed by the individual or community or produced by the business. In agriculture, water use is measured in terms of water volumes consumed (evaporated or incorporated into a product) and/or polluted per unit of time and the WFP is defined as the ratio between the evapotranspiration (ET) and the crop yield, computed over the cropping period (Hoekstra et al. 2011). The green and blue component in the water footprint of a crop is calculated as the green and blue component in crop water use. For those crops that have high evapotranspirative requirements that can only be met by irrigation as rainfall being scarce during the crop cycle, it may be particularly interesting to calculate also the “blue water requirement”, BWR, defined as the ratio between BW and yield, an indicator estimating irrigation consumption per unit of product. Comparing different areas or agronomic managements, the lower the BWR values are, the more efficient is the use of irrigation water.

Ventrella et al. (2015) applied the same methodological approach of this paper on cultivation of winter durum wheat cultivated in Southern Italy.

Based on these considerations, this study aims at evaluating the impact of climate change on water use of industrial tomato cultivated in Southern Italy with particular reference to the consumptive use of green and blue water and to water footprint, all evaluated at regional scale. This paper is a broad synthesis taken from Ventrella et al. (2017).

## Materials and Methods

The study focused on Puglia (Southern Italy), a region of approximately 19.000 km<sup>2</sup> and strategically important for agriculture. Industrial tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) is one of the most important vegetable crops cultivated in the region.

The software AEGIS/WIN, a GIS interface implemented into the model DSSAT v.4.5, was applied in order to simulate the growth and the productivity of tomato in the agricultural and irrigated lands of Puglia according to the land use map.

CROPGRO is a crop model in the DSSAT software package and is one of the most physiologically based agronomic models currently available. It simulates the impacts of weather, soil properties, genotype and management options on daily crop phenological development and growth, as well as on the dynamics of soil water and nitrogen. The model was previously calibrated and validated in the test area for tomato (cv. PS 1296; Rinaldi et al. 2007). The calibration and validation of the model were carried out in the CREA-experimental Farm in Foggia, Italy (41°26'0" N, 15°30'0" E, 90 m above sea).

For the 1975–2005 baseline time period, observed daily data (Tmin, Tmax, rainfall and global solar radiation) were extracted for six cells (50 x 50 km), evenly distributed on Puglia territory, from the MARS JRC archive (MARS project <http://mars.jrc.ec.europa.eu/>). For future climate estimates, time slices were centered over the 2030–2059 (+2°C) and 2070–2099 (+5°C) time periods, respectively. Daily data were obtained from HadCM3 experiment for the A2 SRES IPCC (New 2005).

To overcome the problem of the coarse original HadCM3 GCM resolution, a statistical downscaling procedure based on the LARS Weather Generator (Semenov and Barrow 1997; Semenov 2007) was adopted for producing synthetic daily weather data representing the +2°C (A2) and +5°C (A5) future scenarios. In order to consider the CO2 fertilization effect, three increasing atmospheric concentrations were selected: 360, 550 and 700 ppm for the 1975–2005 period (Baseline), A2 and A5, respectively. However, the effect of CO2 on stomatal conductance and therefore on crop transpiration was not considered in the model.

The cartographic units were intersected with the MARS climatic cells obtaining 189 polygons, considered as calculation units to run the crop model for winter wheat cultivation (Ventrella et al. 2012) and 150 polygons for

tomato simulation as utilized in this study on the AEGIS/WIN-DSSAT platform.

In order to describe the soil hydrological characteristics we considered the textural classes in the areas of tomato cultivation, the soil depth and the available water content (AWC, mm) of the shallowest layer of 1 m of calculated as

$$AWC = \sum_{i=0}^n h_i (FC_i - WP_i) \quad (\text{Eq. 1})$$

where h (mm), FC and WP are depth, field capacity and wilting point of the n horizons included in the shallowest layer of 1 m of the soils as reported by ACLA2 (2002).

According to Siebert and Doll (2010), the consumptive use of GW and BW was obtained from the soil/plant water balance as simulated by DSSAT in two steps considering two cropping systems in rainfed and irrigated regimes. As first step we considered the rainfed condition and the GW was set equal to the actual evapotranspiration without irrigation (ETcno\_irr):

$$GW = ET_{c_{no\_irr}} \quad (\text{Eq. 2})$$

The adoption of irrigation was considered in the second simulation, which was equal to first step but including irrigation. In such case, the evapotranspiration (ETcirr) came from rain and irrigation and then we can write the following equation to estimate BW:

$$BW = ET_{c_{irr}} - GW \quad (\text{Eq. 3})$$

Consequently, the actual evapotranspiration is the sum of GW and BW.

Scheduled irrigation using a sprinkler method was programmed to operate when 80% of the available crop water in the upper 0.5 m of the soil depth is depleted.

In this paper we consider the blue water requirement (BWR) that is the amount of irrigation water, per unit of dry matter yield, to meet the atmospheric evapotranspirative demand in order to obtain the maximum crop production considering the water as limiting factor.

BWR was expressed in terms of t m<sup>-3</sup> and calculated as:

$$BWR = \frac{BW}{Y} \quad (\text{Eq. 4})$$

where Y is the dry matter of tomato yield simulated in irrigated condition.

Descriptive statistics were calculated to synthesize main features of data distribution for GW, BW, yield and BWR. Data of response variables considered in this study were processed by analysis of variance (ANOVA) to test the effects of climate cells, climate scenario and soils distributed at regional scale.

In order to study the effect in climate change on variable distributions, cumulative probability curves were determined for each scenario. Starting from Baseline, the corresponding values for 0.25 and 0.75 quartile were considered to define low, medium and high values as following

:



Tab. 1- Analysis of variance results in terms of Means square for green and blue water (GW and BW), yield, blue water requirement (BWR) and water footprint (WFP). The degrees of freedom (DF) are also reported (from Ventrella et al., 2017).

Tab. 1- Risultati dell'analisi della varianza in termini di varianza di acqua verde e blu (GW e BW), resa e fabbisogno di acqua blu (BWR) e impronta idrica (WFP). Sono riportati anche i gradi di libertà (da Ventrella et al., 2017).

Low value	DF	GW 10 <sup>3</sup>	BW 10 <sup>3</sup>	Yield	BWR 10 <sup>3</sup>	WFP 10 <sup>3</sup>
Medium						
High value						
Source treatment						
Climate Scenario	2	1905	7501	3818	42753	39,349
Soil	51	376	2240	2381	13,428	19,516
Climate Cell	14	225	847	141	3,995	3,817
CS*S	98	13	30	80	907	1,901
CS*CC	28	49	131	112	3028	3,464
S*CC	86	7	11	9	241	283
CS*S*CC	170	3	5	3	147	171

In other words, the low values were the lowest values of Baseline having a probability equal or less than 0.25; high values were the highest values with 0.25 probability; medium values were the intermediate values, with a probability of 0.5. The second step was to estimate the probability levels for the three defined classes that each variable assumes in the two scenarios analysis, A2 and A5, for effect of climate change.

## Results and Discussion

Climatic scenarios determined a great influence on all variables in study and, in general, future scenarios confirmed the regional distribution pattern of the Baseline, a regional pattern that led us to divide the region's territory into three macro-areas.

Soil was determinant for yield but also it had a significant impact on BW and, to a lesser extent, on GW, an effect due essentially to the retention capacity and therefore susceptibility to drainage losses following intensive

rainfalls, due to the thickness of the profile and the difference between field capacity and wilting point. In particular, compared to the soils with different texture, sandy soils recorded higher BWR and WFP values due to both higher water consumption (in particular BW) and low yields (Table 1).

Tab. 2 - Median values of green and blue water (GW and BW), yield, blue water requirement (BWR) and water footprint (WFP) of CDC distribution reported in Figure 1 (from Ventrella et al., 2017).

Tab. 2 - Mediane di acqua verde e blu (GW e BW), resa, fabbisogno di acqua blu (BWR) e impronta idrica (WFP) delle distribuzioni di probabilità riportate in Fig. 1 (from Ventrella et al., 2017).

Indicator	Unit	Scenario	Northern	Central	Southern
GW	mm	Baseline	130	145	91
		A2	100	113	91
		A5	74	88	83
BW	mm	Baseline	387	372	363
		A2	430	397	389
		A5	493	431	415
Yield	t ha <sup>-1</sup>	Baseline	9.40	10.60	8.96
		A2	9.26	10.05	10.70
		A5	7.41	8.80	10.13
BWR	m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup>	Baseline	442	369	420
		A2	470	385	359
		A5	692	482	403
WFP	m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup>	Baseline	579	508	523
		A2	585	506	454
		A5	804	595	494

## Green and blue water

The consumptive use of GW and BW for tomato cultivation in Puglia region was affected by climate change and was closely related to temperature and therefore to the trend of atmospheric evaporative demand. The Northern area was characterized by warmer climate in the Baseline scenario and this finding was confirmed in future scenarios and in A5 in particular (Table 2)

In Northern area, with highest temperatures and lowest rainfall, under Baseline GW was about 130 mm corresponding to 25% of tomato evapotranspiration (ETc) versus the 74 mm under A5 covering only the 13% of ETc. In the other two areas and under A5 the contribution of GW to ETc was about 17% and 20% for A2.

Therefore, BW tended to increase moving from Southern to Northern area of Puglia and from Baseline to A5 scenario, confirming such variable, and so the irrigation practice, as the main limiting factor for obtaining sustainable yield level of industrial tomato from economic and agronomic point of view.

### Yield

In agreement with Ventrella et al. (2012), the findings of this paper confirmed that climate change could negatively affect yields of tomato, a result mainly due to the shortening of crop cycle that affects, above all spring crops as tomato.

The latest IPCC report (2014) indicated how +2 °C should be considered a threshold level beyond which the impacts of climate change will remain minimal in many areas of the globe for many agricultural crops. Attri and Rathore (2003) reported different wheat genotype responses under climate change in rainfed and irrigated conditions, while Ferrise et al. (2011) found that for the entire Mediterranean basin, the projected warmer and drier climate is predicted to increase the risk of yield losses especially for temperature increases exceeding 2 °C.

### Blue water requirement and water footprint

We considered the total water footprint and the water footprint calculated in terms of BW, namely the BWR. The BWR assumes its importance as it could support water policy allowing to concentrate the water resources where the efficiency of productivity of irrigation water (i.e. the blue water) is highest.

As BW, also the value of BWR and WFP tended to increase moving from Southern to Northern area and from Baseline to A5 scenario. BWR to WFP varied jointly in sign and magnitude: in Northern area they increased under A5 ranging between + 40 and + 50% compared to Baseline, while no significant changes were detected for Central and in particular Southern area.

Overall medians of BWR and WFP, expressed in term of fresh matter in order to compare our results with the others found in literature, were about 20 and 25 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>, respectively, under Baseline and A2. However, the corresponding medians were increased to 25 and 30 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> under A5. Such order of magnitude resulted lower than that reported by Mekonnen and Hoekstra (2011) that showed a value of 322 and 171 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> for vegetables and tomato, respectively. The average water footprint for cereal crops was estimated by Mekonnen and Hoekstra (2011) around 1600 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>; for Italian durum wheat Ventrella et al (2015) estimated a WFP of more than 2500 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> simulated in a contest of rainfall regime and Baseline scenario due to the lower yields compared to Mekonnen and Hoekstra (2011). In any case, such values are much more higher than those of vegetables with the main reason being due to differences in crop yields. For fresh tomato cultivated in Spain, Chapagain and Orr (2009) used a mean level yield of 61 t ha<sup>-1</sup> and they estimated, for most Spanish regions, a WFP ranging from 60 to 100 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>. This large variability

present in literature regarding the WFP depends on many

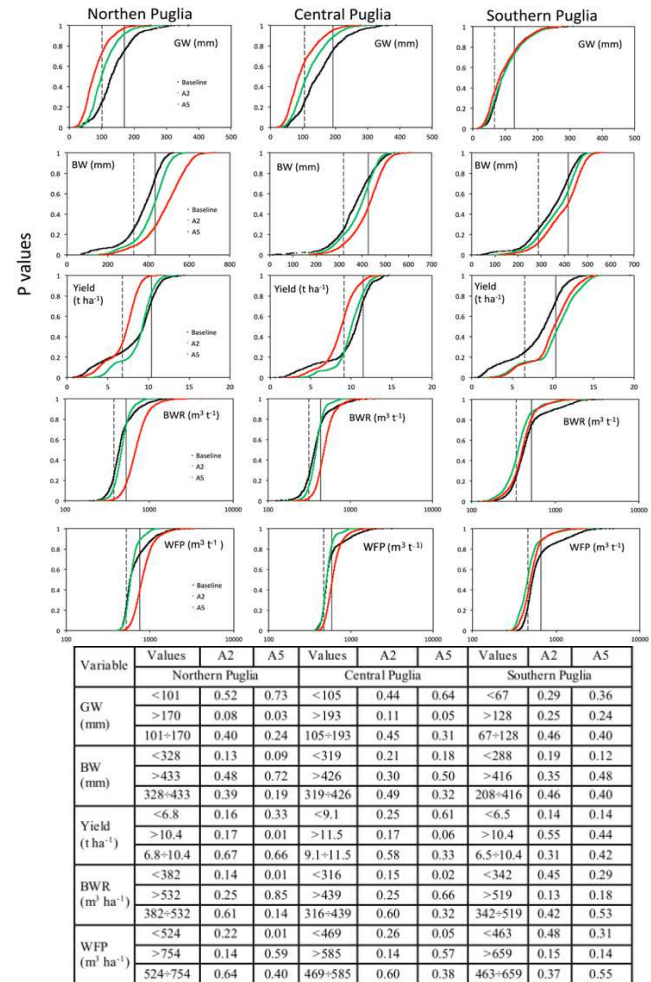


Fig. 1 - Cumulative statistical distribution (CDC) of green and blue water (GW and BW), blue water requirement (BWR), tomato yield and water footprint (WFP) by area and climate scenario. The vertical lines represent the first and third quartile of Baseline scenario. The probability levels of low, high and medium values under future scenarios of each CDC are reported in the table.

Fig. 1 - Distribuzioni di probabilità cumulate (CDC) di acqua verde e blu (GW and BW), fabbisogno di acqua blu (BWR), resa di pomodoro and impronta idrica (WFP) per area e scenario climatico. Le linee verticali rappresentano

factors influencing such parameter including climate, soil and above all agronomical management that can determine very high variations in water use efficiency that is the inverse of WFP. This results in the need to define in a very precise way the agronomic context of the cropping system to which the crop WFP data refer. when crop WFP. Our low values of BWR and WFP are due to the high-simulated yield (about 170 t ha<sup>-1</sup>, as fresh weight) that can be considered very close to the potential yield because a full irrigation scheduling was adopted and no nitrogen stress was applied.

In 2013 and 2014, the average field production of industrial tomato in Southern/Central Italy was about 80 t ha<sup>-1</sup> (as

fresh weight), while in a field trial carried out in the province of Foggia (North of Puglia) the yields were almost 130 t ha<sup>-1</sup>, a value similar to the average of the farms (Troccoli et al., 2016).

For industrial tomato, cultivated in Italy, Aldaya and Hoekstra (2010) estimated a national average WFP of 95 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> of which 60 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> coming from blue water (BWR).

Fig. 1 reports the cumulative distribution curve (CDC) for the variables under study (GW, BW, Yield, BWR and WFP), in the three areas that cover the entire Puglia territory (Northern, Central and Southern area) and under the three scenarios (Baseline, A2 and A5). GW shows a great reduction for the Northern area with the median that drops from 130 to 100 mm of A2 and above all 74 under A5 (-23 and -43% respectively). Moreover the probability of low values increased from 0.25 of Baseline to 0.52 and 0.73 under A2 and A5 respectively, while the medium value probabilities drop from 0.5 to 0.4-0.2 and the high values from 0.25 to 0.08 and 0.03 (A2 and A5).

### Conclusions

This regional assessment of Green and Blue water consumption for industrial tomato cultivated in Puglia Region, has provided details on the crop responses to climate change and on how the water resources could be managed in order to optimize the crop yield and water productivity. The approach based on estimating the consumptive use of Green and Blue water and water footprint proved to be a useful tool to evaluate the sustainability of tomato cultivation based on irrigated regimes for the agro-pedoclimatic conditions of Puglia region. The indicators appeared dependent on climate change, spatial and temporal distribution of temperature and rainfall during the crop cycle, but also the soil hydraulic characteristics, in particular soil depth, field capacity and wilting point, were determinant to diversify the values.

In this framework, the water indicators were estimated at the regional scale and highly diversified responses were detected within the Northern area of Puglia, the most important one for tomato cultivation in the Region and very significant also for the national production, more vulnerable to climate change, under A5 scenario. Such larger vulnerability, compared to the other two areas of Puglia, was forecasted to be in terms of lower consumption of green water and yield and higher blue water requirement and water footprint. In particular, for such area, our findings confirm that for a global temperature change of 5°C, environmental conditions were likely to overcome the potential adaptation capacity of tomato cultivation impacting significantly the crop performances in term of yield and water footprint.

The regional distribution patterns of water footprint, in particular if calculated in term of blue water consumption, can usefully support the policies of management and planning of water resources.

Future improvement of water footprint simulation under climate change can be obtained taking into account the CO<sub>2</sub>

effect on stomatal conductance and therefore on crop transpiration. Moreover, more realistic estimation of water footprint can be obtained considering and comparing different agronomic strategies as the deficit vs. full irrigation and different levels and type of Nitrogen fertilization, a very important agronomical factor strongly interacting with the soil water availability in determining yield, yield quality and water use and therefore water footprint.

### References

- Aldaya M.M., Hoekstra A.Y., 2010. The water needed for Italians to eat pasta and pizza. *Agricultural Systems* 103, 351–360.
- Attri S.D., Rathore L.S., 2003. Simulation of impact of projected climate change on wheat in India. *International Journal of Climatology*, 23: 693-705.
- Chapagain A.K., Orr S., 2009. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: a case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management* 90: 1219–1228.
- Ferrise R., Moriondo M., Bindi M., 2011. Probabilistic assessments of climate change impacts on durum wheat in the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 1293-1302.
- IPCC. (2014). Summary for policymakers. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In (Eds) C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Mastrandrea, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A. Y., 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1577–1600.
- Siebert S., Döll P., 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, 384: 198-217.
- Troccoli A., De Gregorio V., Carrabs G., Selvaggio V., Olivieri A., Demaio G., Toriaco A., De Sio F., Rapacciuolo M., Trifirò A., Giuliano B., Pecchioni N., 2016. Prove su pomodoro da industria, situazione delle rese al Sud. *L'informatore Agrario*, 11: 61-64.
- Ventrella D., Charfeddine M., Moriondo M., Rinaldi M., Bindi, M. 2012. Agronomic Adaptation Strategies under Climate Change for Winter Durum Wheat and Tomato in Southern Italy: Irrigation and Nitrogen Fertilization. *Regional Environmental Change*, 12: 407-419.
- Ventrella D., Giglio L., Charfeddine M., Dalla Marta, A., 2015. Consumptive use of green and blue water for winter durum wheat cultivated in Southern Italy. *Italian Journal of Agrometeorology*, 1: 33-44.

# LP-WAN DEVICES FOR METEOROLOGICAL DATA COLLECTION ON LONG AND EXTREMELY LONG RANGES

## DISPOSITIVI LP-WAN PER LA RACCOLTA DI DATI METEO A LUNGA E LUNGHISSIMA DISTANZA

Paolo Cielo<sup>1\*</sup>, Giovanni Paolo Colucci<sup>1\*</sup>, Nicolò de Ferrari<sup>2</sup>, Mattia Poletti<sup>1\*</sup>, Daniele Trincherò<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ENTE- iXem Labs – Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni – Politecnico di Torino, corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino (TO), Italia

<sup>2</sup> ENTE- Poderi Boscarelli, Via di Montenero, 24, Montepulciano (SI), Italia

\*info@iXem.polito.it

### Abstract

Nowadays, Internet of things (IoT) wireless network systems offer great potential, especially when applied to the collection of environmental monitoring data. UNB devices from Sigfox and LoRa transceivers from SemTech, both operating in license-free bandwidths, allow connections up to 100 km between the terminal node and the data collection station. On the other hand, new microcontroller architectures optimize energy consumption during the whole measurement process: data acquisition, conditioning, processing and storage. The iXem Labs of Politecnico di Torino, after conducting a comparative analysis among various transmission technologies, have designed low-cost sensor nodes compatible with the LoRa transmission system, characterized by energy consumption as low as 2 Wh per year, detecting and transmitting every 10 minutes, therefore capable to be powered by simple non-rechargeable batteries. Experimental surveys applied to the Boscarelli vineyards, in Montepulciano, Tuscany, demonstrated the reliability and replicability of the technology; for this reason, we are progressively scaling up a network compatible with the LoraWan

### Parole chiave

Monitoraggio Meteorologico da remoto – Internet delle Cose – Reti di Sensori senza Fili – Reti a grande Distanza

### Keywords

Remote Meteorological Monitoring – Internet of Things – Wireless Sensor Networks – Wide Area Networks

### Introduzione

Oggi la rilevazione di parametri meteorologici richiede non solo l'utilizzo di sistemi di acquisizione robusti, certificati e riferibili, ma anche la trasmissione delle misure dal luogo in cui queste sono effettuate ad un server remoto, dove lo stesso dato possa essere memorizzato e successivamente analizzato, secondo il paradigma noto come Internet delle Cose (IoT) (Xia et al., 2012), (Ashton, 2011). Soprattutto nelle applicazioni di agrometeorologia il punto di misura è sempre ubicato fuori dai centri abitati e la trasmissione non può avvenire su supporto cablato, richiedendo invece l'utilizzo di sistemi di radio-comunicazione (Auernhammer, 2001).

Diverse tecnologie radio sono disponibili per le trasmissioni IoT, alcune basate su standard ben consolidati e recentemente aggiornati per supportare la trasmissione di dati di monitoraggio, altre emerse più recentemente e dedicate specificatamente al mondo dell'IoT:

- IEEE 802.15.1 (IEEE 802.15.1), nome commerciale Bluetooth; consente collegamenti a corta distanza con basso consumo di potenza, eventualmente estendibili con tecniche multihop (con ripetitori multipli) grazie a reti piconet annidate in scatternet estese; Bluetooth è un sistema di trasmissione universale, presente su tutti i terminali mobili e sui PC laptop, caratterizzato da buon trasporto di banda (fino a 2 Mb/s);
- IEEE 802.15.4 (IEEE 802.15.4), le cui implementazioni principali sono ZigBee e 6LoWPan; consente collegamenti a media distanza in linea di vista con basso consumo di potenza, estendibili con tecniche

multihop grazie a reti mesh con indirizzamento variabile; è caratterizzato da basso trasporto di banda (non più di 200 kb/s); ZigBee richiede un gateway di frontiera, da interfacciare con uscite standard (Bluetooth, LAN, Wi-Fi, mobile);

- IEEE 802.11 [6], nome commerciale Wi-Fi: consente collegamenti a media distanza in linea di vista con alto consumo di potenza, naturalmente estendibili con tecniche multi-hop grazie a reti mesh con indirizzamento variabile; è caratterizzato da altissimo trasporto di banda (fino a 1 Gb/s); Wi-Fi è un sistema di trasmissione universale, presente su tutti i terminali mobili e sui PC laptop; il nuovo emendamento 802.11ah lavora a frequenze al di sotto del GHz, utilizza canali a banda stretta (da 1 MHz a 16 MHz) e protocolli di accesso alla rete con ridotto impatto energetico;
- telefonia mobile 2G/3G/4G: consente collegamenti a media/lunga distanza in linea di vista, con alto consumo di potenza e reti caratterizzate da single-hop; l'utilizzo di frequenze licenziate permette collegamenti non in linea di vista; è un sistema di trasmissione universale, caratterizzato da discreto trasporto di banda, presente su tutti i terminali mobili e inseribile sui PC laptop;
- LP-WAN: consente collegamenti a bassissima potenza e lunghissima distanza con tecniche single-hop, che superano le limitazioni dovute all'assenza di linea di vista grazie a ricevitori con sensibilità almeno 1000



volte migliore rispetto a quella delle tecniche tradizionali; è caratterizzato da trasporto di banda bassissimo (da poche decine di b/s fino a 50 kb/s); richiede un gateway di frontiera, da interfacciare con uscite standard (BlueTooth, LAN, Wi-Fi, mobile).

Alla luce di quanto presentato, riteniamo che i dispositivi LP-WAN siano quelli più adatti per la trasmissione di dati meteo, per i seguenti motivi:

1. i dati meteorologici sono puntuali e raccolti periodicamente ma non continuamente; di conseguenza il dato è ridotto alla dimensione di pochi byte e i sistemi a larga banda sono quasi sempre superflui;
2. le reti LP-WAN permettono collegamenti non in linea di vista e a lunga distanza, nonostante l'utilizzo di frequenze non licenziate e quindi senza costi di autorizzazione;
3. le reti LP-WAN sono caratterizzate da collegamenti single-hop, non necessitano di ripetitori e permettono ad ogni nodo di misura di minimizzare il proprio consumo energetico.

I sistemi di trasmissione LP-WAN si basano principalmente su due diverse interpretazioni:

- Ultra Narrow Band (UNB) è un sistema di rete a stella (single-hop) con segnali con banda strettissima (100 Hz) che consentono la realizzazione di ricevitori con sensibilità fino a -140dBm; UNB è un sistema poco flessibile (non consente modularità nell'utilizzo di banda) e l'architettura di rete è basata su una soluzione proprietaria (SigFox);
- Long Range (LoRa) (Semtech) è un sistema di rete a stella (single-hop) con segnali a banda variabile, da 125 kHz a 500 kHz, e la possibilità di adottare la modulazione Chirp Spread Spectrum (CSS) che consente guadagni di ricezione fino a 36 dB, con conseguente sensibilità del ricevitore fino a -135dBm; LoRa è un sistema flessibile che adotta lo standard open-source LoRaWAN (Lora Alliance), secondo il quale la rete è formata da:
  - end-device (nodo sensore), con scopo di raccolta dati sul campo
  - gateway di frontiera (concentratore), con scopo di interfaccia tra la rete LoRa e la rete Internet
  - network server, con scopo di gestione dei collegamenti tra i gateway e gli end-device, di autenticazione degli end-device e di raccolta dati da trasmettere all'application server
  - application server, con scopo di gestione e elaborazione dei dati.

Per tutti i motivi sopra elencati, dopo aver sperimentato per alcuni anni diverse soluzioni ad-hoc (Rodriguez et al., 2015), (Rodriguez et al., 2014), (Rodriguez et al., 2014), (Demaria et al., 2016), abbiamo deciso di realizzare una piattaforma di acquisizione di dati meteorologici incentrata esclusivamente sull'utilizzo di una rete LoRaWAN, dove i gateway sono gestiti esclusivamente in modo centralizzato

e i punti di misura sono tutti terminali, e pertanto semplici e a bassissimo consumo energetico.

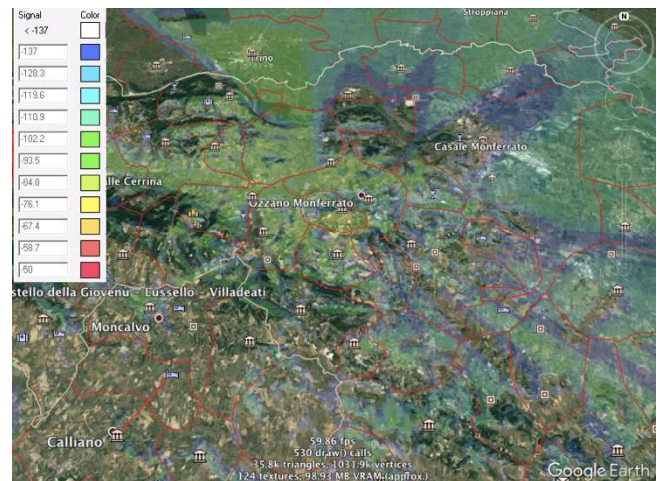


Fig.1 - Mappa di copertura con ricevitore a 8 m dal suolo.  
Fig.1 - Coverage map with receiver at 8 m above the ground.

### Materiali e Metodi

Con le tecnologie tradizionali (Wi-Fi, ZigBee, telefonia mobile) è necessario installare i ricevitori in posizioni elevate utilizzando torri o tralicci, in modo da sopperire alla mancanza di linea di vista. Grazie ai vantaggi offerti dallo strato fisico di LoRa, è invece possibile raggiungere distanze maggiori di quelle ottenibili con tecnologie simili, anche posizionando i ricevitori ad altezza ridotta.

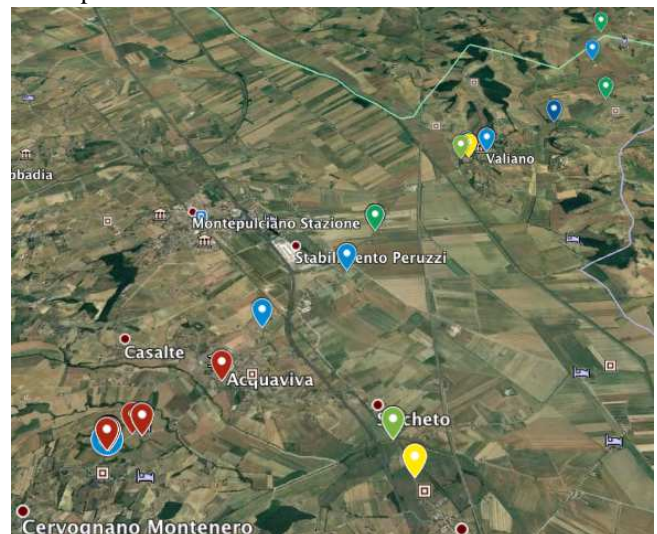


Fig.2 - Mappa di copertura con ricevitore a 100 m dal suolo.  
Fig.2 - Coverage map with receiver at 100 m above the ground.

Le Figure 1 e 2 mostrano simulazioni di copertura radio LoRA, ottenute mediante un ricevitore localizzato rispettivamente all'altezza di 8 e 100 metri sul suolo. Queste quote rappresentano due tipologie di installazione standard: sul tetto di una casa o in cima a una torre radio.



Lo scenario rappresentato nelle simulazioni è reale e si riferisce alle colline del Monferrato. Le simulazioni sono state realizzate sfruttando il metodo COST con una distribuzione statistica degli alberi.

Anche se le tecnologie LP-WAN sono in grado di operare in assenza di linea di vista tra trasmettitore e ricevitore, è innegabile che un corretto posizionamento del gateway rappresenti un elemento cruciale per l'ottimizzazione dei collegamenti radio, anche perché nel monitoraggio di parametri ambientali i nodi sensore sono spesso inseriti fra ostacoli, in particolare la vegetazione, con posizionamenti fortemente vincolati da scelte di carattere agronomico.

Come si può notare però, ad un'altezza di 100 metri, la copertura radio del ricevitore risulta migliore, ma non tale da rappresentare scelta condizionante.

Inoltre LoRaWAN consente di gestire migliaia di dispositivi con un solo gateway con distanze paragonabili ai 60 km (Vangelista et al., 2015), a differenza delle reti tradizionali, dove distanze importanti possono essere raggiunte solo attraverso l'utilizzo di reti multi-hop, con dispiego di ripetitori, per realizzare tipologie di rete ad albero o a maglia dinamica (mesh), come mostrato il Figura 3.

Un esempio di rete LP-WAN è viceversa rappresentato in Figura 4: i collegamenti tra gateway e nodi sensore sono tutti diretti e single-hop, in una tipologia di rete a stella. In questa architettura i gateway, chiamati concentratori, sono gestiti in modo centralizzato e pertanto possono essere dispiegati in punti strategici per coprire la maggior parte del territorio.

Per tutti questi motivi, la quantità di concentratori nell'architettura LoRaWAN è notevolmente inferiore rispetto a quella necessaria nei sistemi tradizionali e i concentratori possono essere distribuiti in luoghi in cui vi è possibile disporre di alimentazione continua e stabile.

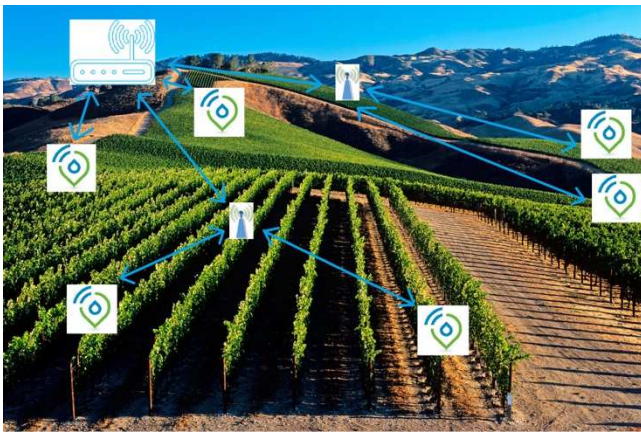


Fig.3 - Esempio di rete senza fili per raccolta dati meteo con tecniche radio tradizionali (Wi-Fi, ZigBee).

Fig.3 - Example of wireless network to collect meteorological data by traditional radio techniques (Wi-Fi, ZigBee).

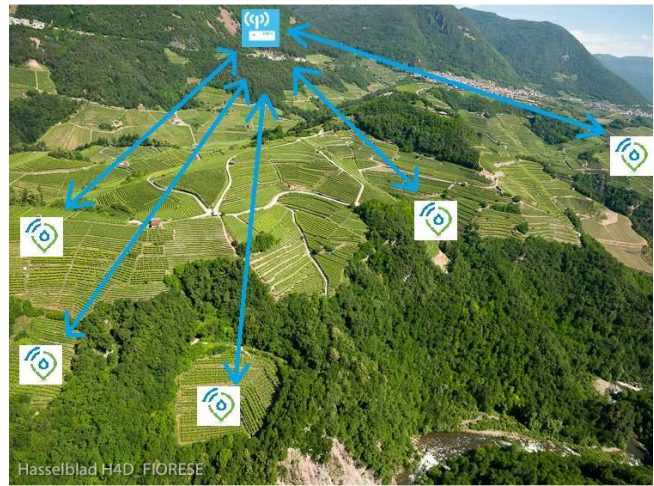


Fig.4 - Esempio di rete senza fili per raccolta dati meteo con tecniche LP-WAN.

Fig.4 - Example of wireless network to collect meteorological data by LP-WAN technologies.

I ripetitori non sono più necessari e l'utente finale (l'agricoltore) deve preoccuparsi esclusivamente dei nodi sensore.

Si è pertanto deciso di modificare la topologia della rete, passando da una rete a stella a una LPWAN-

### Risultati e Discussione

Un primo test di comunicazione radio è stato realizzato collocando un concentratore a Treville (AL) all'altezza di 100 m da terra, e un secondo concentratore a Verrua Savoia (TO), all'altezza di 8 m da terra. Un nodo sensore campione è stato spostato in diverse posizioni, fino a una distanza massima di 40 km. Nella Figura 5 si possono apprezzare le misure di trasmissione effettuate. A sinistra della linea blu sono riportate quelle inerenti alla località di Verrua, a destra quelle di Treville. Come si può evincere dalla mappa, la bontà del collegamento radio persiste anche a distanze considerevoli, intorno ai 40 Km.

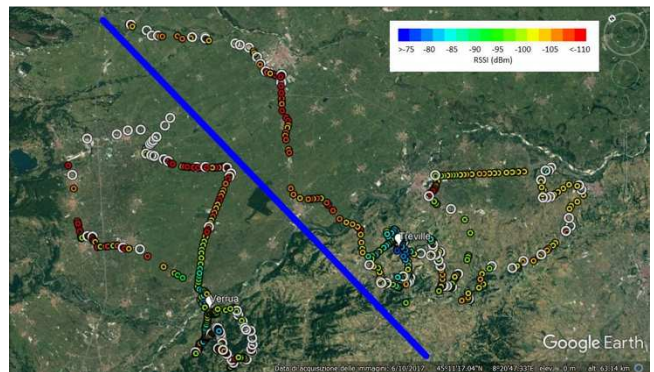


Fig.5 - Mappa delle misure effettuate nelle località di Verrua Savoia e Treville.

Fig.5 - Map of the measurements collected in Verrua Savoia and Treville.

Le misure effettuate nella zona di Treville risultano leggermente migliori ma comunque paragonabili, grazie alla migliore conformazione del territorio, alla maggiore altezza del concentratore e alla minore presenza di alberi. Successivamente è stata realizzata una vera e propria rete LP-WAN, per la copertura dei vigneti dell'azienda Poderi Boscarelli, a Montepulciano (Si) e Cortona (Ar), in Toscana.

Il gateway è stato posizionato sul tetto della cantina, ubicata in località Cervognano, località non particolarmente alta, e soprattutto non in linea di vista con molti dei vigneti oggetto di intervento. Il profilo altimetrico si sviluppa su una direttrice di circa 15 km che separa Cervognano da Centoia, dove si alternano 4 colline, tutte a quota più alta della cantina e dei vigneti a Centoia, tre delle quali ricoperte da folta vegetazione e villaggi. Le misure sono state effettuate su tutto il percorso, utilizzando come strumenti di verifica gli stessi nodi sensore che successivamente sono stati posizionati nei vigneti. La Figura 6 mostra il profilo altimetrico del percorso, tutto sotto copertura, e i valori registrati nei punti di misura, scelti opportunamente nelle posizioni più sfavorevoli alla propagazione.

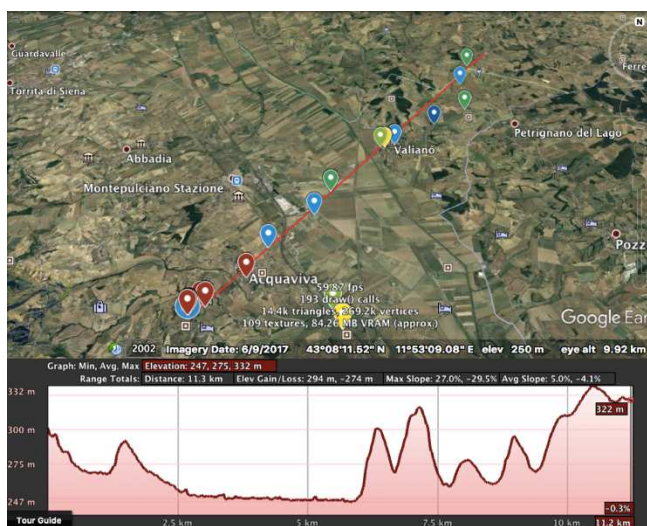


Fig.6 - Profilo altimetrico (in basso) e risultato delle misure effettuate tra Cervognano e Centoia (mappa 3D); i valori variano da -70 dBm (rosso) a -120 dBm (blu).

Fig.6 - Altimetric profile (below) and measurement results between Cervognano and Centoia (3D map); values vary between -70 dBm (red) and -120 dBm (blu).

## Conclusioni

Alla luce dei risultati raggiunti, è stata costruita una piattaforma cloud conforme alle specifiche LoraWAN, per la raccolta di dati meteorologici dalle seguenti tipologie di sensori: temperatura, umidità, pioggia, direzione e intensità del vento, temperatura e umidità del suolo, esposizione solare, bagnatura fogliare.

La piattaforma opera da aprile sul territorio di Montepulciano, con collegamenti a sensori posizionati fino a 50 km di distanza e capacità di raccolta dei dati pari al 99% delle letture, al di là delle manutenzioni sugli apparati conseguenti la necessità di gestire la sperimentazione.

## Bibliografia

- Ashton K., 2011. That internet of things thing. *RFiD Journal*.
- Auernhammer H., 2001. Precision farming the environmental challenge. *Computers and electronics in agriculture*: pag. 31-pag. 43.
- Demaria M., et al., 2016. An efficient platform for low-power, high- definition Multimedia Wireless Sensor Nodes. *Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet), IEEE Topical Conference on*. IEEE: pag.38 – pag.40.
- <http://iee802.org/11>
- <http://www.ieee802.org/15/pub/TG1.html>
- <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- <https://www.lora-alliance.org>
- <https://www.semtech.com>
- <https://www.sigfox.com>
- Rodriguez de la Concepcion A., Stefanelli R. and Trincherio D., 2015. Ad- hoc multilevel wireless sensor networks for distributed microclimatic diffused monitoring in precision agriculture. *Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet), IEEE Topical Conference on*: pag.14 – pag.16.
- Rodriguez de la Concepcion A., Stefanelli R. and Trincherio D., 2014. A wireless sensor network platform optimized for assisted sustainable agriculture. *Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) IEEE*: pag.159 - pag.165.
- Rodriguez de la Concepcion A., Stefanelli R. and Trincherio D., 2014. Adaptive wireless sensor networks for high-definition monitoring in sustainable agriculture. *Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet), IEEE Topical Conference on*. IEEE: pag.67 – pag.69.
- Vangelista L., Zanella A., Zorzi M., 2015. Long- range IoT technologies: The dawn of LoRa. *Future Access Enablers of Ubiquitous and Intelligent Infrastructures*, Springer, Cham. pag. 51 – pag.58.
- Xia F., Yang L. T., Wang L., Vinel A., 2012. Internet of things. *International Journal of Communication Systems*: pag. 25-1101–pag. 25-1102



# DECEURINO: AN ECONOMICAL DATA LOGGER SUITABLE FOR AGRO-METEOROLOGY

## DECEURINO: ECONOMICO DATA LOGGER PER AGRO-METEOROLOGIA

Giambattista Toller<sup>1\*</sup>, Ivan Piffer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ENTE– Fondazione Edmund Mach, via Mach 1, 38010, San Michele all' Adige (Trento)

\*[giambattista.toller@fmach.it](mailto:giambattista.toller@fmach.it)

### Abstract

Field telemetry is an important tool for an economically and environmentally friendly agriculture. Starting from a Arduino hardware platform and using recently available circuit boards, we created a data-logger connected to the WEB through GPRS. The logger is now used to detect the electrical resistance of the soil as a proxy for water content. The main aim of the project, specifically called "Deceurino", was the reduction of hardware costs to a few tens of euros. This aim was achieved quite satisfactorily, as the cost was around € 20.

### Parole chiave

Data-logger, Arduino, IoT

### Keywords

Data-logger, Arduino, IoT

### Introduzione

La telemisura di grandezze di interesse agricolo rappresenta un importante passo avanti verso una gestione dell'agricoltura più economica e più rispettosa dell'ambiente.

I principali ostacoli da superare nella progettazione di strumentazione elettronica da dedicare a questo servizio in campo sono:

- i consumi di energia elettrica,
- le difficoltà nelle trasmissioni radio
- i costi.

Con Arduino era stato da noi già sviluppato in passato un datalogger agricolo, indirizzato specificamente alle misure di umidità del suolo, chiamato "Centeurino" perché si era puntato ad un costo di circa 100 € (Toller et al. 2013).

Il progressivo calo dei prezzi dell'elettronica e la presenza sul mercato di adatti circuiti con componenti già assemblati ci ha indotti a creare una nuova versione dello strumento, mirando però questa volta ad un costo tendenziale dell'ordine di alcune decine di euro: "Deceurino".

### Materiali e Metodi

Il prototipo del datalogger è stato sviluppato partendo da Arduino, una piattaforma hardware composta da una serie di schede elettroniche dotate di un microcontrollore, ideata e sviluppata da alcuni membri dell'Interaction Design Institute di Ivrea (WebRef 1) come strumento per la prototipazione rapida e per scopi hobbistici, didattici e professionali (WebRef 2).

Tra le varie schede disponibili si sono scartate le più semplici ed è stato scelto Arduino Mega ATmega2560 (WebRef 3) perché fornisce una quantità di memoria RAM sufficiente per contenere le necessarie librerie ed è inoltre dotato di due porte seriali dedicate.

Per la trasmissione di dati, effettuata per mezzo della tecnologia di telefonia mobile cellulare chiamata in inglese

General Packet Radio Service (GPRS), si è adottato il modem AI-Thinker A6 (WebRef 4).

La memorizzazione locale delle informazioni è stata affidata ad una scheda commerciale premontata dotata di micro SD da 2 GiB.

Il timing del sistema è stato ottenuto per mezzo di una scheda orologio in tempo reale (inglese: Real Time Clock: RTC) premontata su cui era installato il diffuso chip timer DS3231.

Per la scansione dei vari sensori (fino a 16 elettrodi) connessi al sistema, è stata scelta una coppia di multiplexer/demultiplexer analogici a 16 canali HC4067, aventi una resistenza di conduzione sufficientemente bassa (70  $\Omega$  a 6.0 V) da non influenzare eccessivamente le misure.

La batteria ermetica al piombo ha una tensione di 6 V, con capacità di 4 A-h. La sua ricarica è affidata a un pannello solare da 5 W e 17.6 V di voltaggio alla potenza massima. La scheda premontata del regolatore di tensione interposto tra pannello e batteria è dotata di un chip LM2596.

Quasi tutte le fasi della progettazione, realizzazione e collaudo delle apparecchiature sono state eseguite nei laboratori della Fondazione Edmund Mach. Solo la realizzazione fisica del circuito stampato è stata affidata ad una ditta specializzata.

### Risultati e Discussione

L'hardware è stato progettato come "Arduino shield" (WebRef 5), cioè come scheda dotata di connettori elettrici da infilare direttamente nei corrispondenti fori presenti su Arduino. Sullo shield, oltre ad altri componenti circuitali, sono state installate tutte le schede premontate commerciali. Lo schema a blocchi del sistema è riportato in Fig.1. Per ottenere il massimo risparmio energetico si è optato per lo spegnimento completo di quasi tutti i circuiti nel tempo che intercorre tra due misure successive (circa 15 minuti). Solo il timer a basso consumo è costantemente sotto tensione ed

ha il compito di ridare l'alimentazione alle altre schede al tempo programmato. Terminata la lettura dei sensori la memorizzazione e la trasmissione dei dati al server remoto, Arduino imposta sul timer l'ora del prossimo risveglio e subito dopo toglie l'alimentazione a sé stesso e a tutte le altre schede.

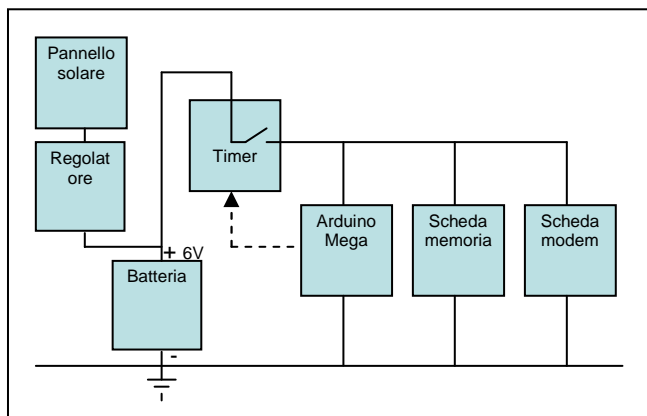


Fig. 1. Schema a blocchi del sistema Deceurino. Il timer è sempre attivo, tutte le altre schede invece sono accese solo per il tempo delle misure e della trasmissione.

Fig. 1. Block diagram of Deceurino system. The timer is always on, all the other cards are on only during measurement and transmission time.

Il consumo della scheda timer adottata è di circa 210  $\mu\text{A}$ , ma si ritiene di poter abbassare questo valore apportando qualche modifica circuitale.

Il consumo del sistema nel tempo di accensione è dell'ordine di 150 mA per una durata di 45 secondi.

La quantità oraria di elettricità richiesta da Deceurino è perciò data dalla seguente relazione, dove in parentesi quadra sono riportate le unità di misura:

$$((14 \cdot 60 + 15)[\text{s}] \cdot 210 \cdot 10^{-6}[\text{A}] + 45[\text{s}] \cdot 150 \cdot 10^{-3}[\text{A}]) \cdot 4[1/\text{h}] = 27.7182 [\text{coulomb/h}] \text{ o } [\text{C/h}].$$

La batteria da 6 V adottata ha una capacità a piena carica di 4 [A·h] = 14400 [C]; in assenza di ricarica da parte del pannello, è perciò in grado di fornire energia per circa tre settimane:

$$14400 [\text{C}] / 27.7182 [\text{C/h}] / 24 [\text{h/d}] = 21.6 [\text{d}]$$

Nella configurazione attuale, il sistema è usato per misure di resistenza elettrica del suolo quali proxy del contenuto idrico. Il metodo adottato è quello di misurare la caduta di potenziale (Vv) su un resistore fisso di valore noto (Rv), posto in serie alla resistenza del suolo (Rx) rilevata tra due elettrodi, alimentando il circuito con una tensione fissa (Vo). La resistenza incognita è data da:

$$R_x = (V_o - V_v) \cdot R_v / V_v$$

Siccome il range di variazione di tensione è piuttosto ampio, il convertitore analogico/digitale (ADC) di Arduino si dimostra adeguato pur avendo solo 10 bit. Qualora si richiedesse al data-logger maggiore sensibilità, sarebbe necessario aggiungere un ADC con maggiore risoluzione (es. 18 bit).

Per quanto riguarda le distanze di trasmissione, le limitazioni eventuali sono legate unicamente alla copertura

della rete GPRS. In zone difficili si possono ottenere notevoli miglioramenti con antenne ad alto guadagno.

Il costo del materiale necessario per creare Deceurino (Arduino Mega + shield) è stato di circa 20 €. Su un suo uso in campo gravano tuttavia i pesanti costi di batteria, pannello solare, contenitore stagno (circa 60 €).

## Conclusioni

Il raggiungimento dei tre obiettivi di progetto (consumi, comunicazione, costi) può essere considerato moderatamente soddisfacente.

- Il basso consumo medio di potenza di Deceurino è dovuto principalmente alla brevità periodi di accensione (45 secondi ogni 15 minuti). Se si volessero fare trasmissioni più frequenti, sarebbe necessario potenziare batteria e pannello solare. A causa della notevole quantità di dati trasmissibili, la potenza assorbita da un modem GPRS non può infatti scendere di molto. L'abbassamento della potenza di trasmissione è legato principalmente alla riduzione della velocità ed è infatti su tale caratteristica che sono basati i nuovi sistemi quali ad esempio LoRa (WebRef 6) o SigFox (WebRef 7) proposti per l'Internet delle Cose.
- L'uso della rete GSM-GPRS, che oggi ha una vasta copertura, garantisce una notevole sicurezza e facilità nelle trasmissioni. Eventuali situazioni critiche possono spesso essere risolte con antenne di adeguato guadagno.
- Il fatto che una alta percentuale dei costi sia legata all'alimentazione elettrica del sistema, pone in chiara evidenza l'opportunità, qualora non si debbano trasmettere grosse moli di dati (es. immagini da fotocamere), di indirizzarsi verso i nuovi metodi di trasmissione a bassa velocità.

## Bibliografia

Toller G., Corradini S., Biasi A., Andreis D., Biasi A., Caset D., Paternolli U., Piffer I., Zottele F., 2013. Centeurino, l'agro-meteorologia sposa Arduino. Rapporto 2013. Fondazione Edmund Mach, Centro Trasferimento Tecnologico: pag.21

## Web references

- 1) Interaction Design Institute Ivrea. Web. 11 maggio 2018. <https://interactionivrea.org/it/index.asp>
- 2) Arduino. Web. 11 maggio 2018. <https://www.arduino.cc/>
- 3) Arduino Mega 2560. Web. 10 maggio 2018. <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>
- 4) GSM GPRS A6 Module. Web. 10 maggio 2018. [http://www.electrodragon.com/w/GSM\\_GPRS\\_A6\\_Module](http://www.electrodragon.com/w/GSM_GPRS_A6_Module)
- 5) Arduino Shields. Web. 11 maggio 2018. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoShields>
- 6) LoRa Alliance. Web. 11 maggio 2018. <https://loro-alliance.org/>
- 7) Sigfox. Web. 11 maggio 2018. <https://www.sigfox.com/en>

# THE CROP MODEL IVINE: DESCRIPTION AND PRELIMINARY ANALYSES

## IL MODELLO DI CRESCITA IVINE: DESCRIZIONE E ANALISI PRELIMINARI

Valentina Andreoli<sup>1\*</sup>, Claudio Cassardo<sup>1</sup>, Silvia Ferrarese<sup>1</sup>, Samuele Picco<sup>1</sup>, Federico Spanna<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Torino – Dipartimento di Fisica, via Giuria 1, 10125, Torino

<sup>2</sup> Settore Fitosanitario – Regione Piemonte, via Livorno 60, 10144, Torino

\*[vale.andreoli@libero.it](mailto:vale.andreoli@libero.it), [valentina.andreoli@unito.it](mailto:valentina.andreoli@unito.it)

### Abstract

A crop growth model, named IVINE (Italian Vineyard Integrated Numerical model for Estimating physiological values), has been developed to simulate physiological and phenological vineyard conditions. The required boundary conditions, to be provided during the simulation, are: temperature, relative humidity, solar global radiation, PAR (photosynthetically active radiation), soil temperature, soil water content, wind speed and direction, rainfall, and leaf wetness. Other data required in input are: vineyard and soil characteristics, geographical informations, plant density, variety characteristics, and vineyard management. The main model outputs are: the timing of the main phenological phases, the predawn leaf water potential, the leaf development, the yield, and the sugar concentration.

A preliminary sensitivity analysis has been carried out on the main input, in order to understand how and how much output values are depending on input data. Moreover long-term simulations have been performed over a period of climatological relevance on a specific wine region. In this paper, we will summarize the results of these preliminary experiments.

### Keywords

crop model, vine, sensitivity analysis, climatology

### Parole chiave

modello di crescita, vite, analisi di sensitività, climatologia

### Introduction

Grapevine is strongly dependent on environmental conditions and several factors can influence its quality and productivity: meteorology, climate, soil fertility and management practices.

The paper is focused on vineyards because wine has a great importance in Italian and Piedmontese economy. For this reason oenology and viticulture have been object of many studies aimed to know the effect of climate change on yield and quality.

In this context, crop growth models, simulating physical, physiological and phenological processes, are emerging as useful tools to diagnose microscale plant responses to environment (Rossi 2014; Poni 2006).

Crop growth models are able to evaluate interactions between plant, environment and management strategies and provide an instrument to understand the complex plant processes as influenced by pedo-climatic and management conditions (Brisson 2003).

Many crop models operate on a daily time step and simulate the evolution of variables of agronomic interest through daily accumulation. Weather conditions are the input data that drive the crop models and they have a great effect on yield and other model outputs.

A crop growth model named IVINE (Italian Vineyards Integrated Numerical model for Estimating physiological values) has been developed since 2016 (Andreoli, 2017; Cassardo, 2018) by two of the authors (Andreoli V, Cassardo C.) in order to obtain physiological and phenological vineyards conditions.

The simulations have been performed over a period of climatological relevance and over a specific wine area

(Langhe and Monferrato) in Piedmont. A preliminary sensitivity analysis has been carried out on the main input by using one standard year of input data. In order to understand how and how much output values are depending on input data, the latter have been changed one by one.

### Materials and Methods

The model IVINE is a crop growth model created to simulate physiological and phenological vineyards conditions.

The model is based on the availability of a set of weather data, vineyard and soil informations; it works by means of a daily time step and the phenological phases dictate the timing of different routines.

The required boundary conditions, to be provided during the simulation, are hourly data: air temperature, air relative humidity, solar global radiation, photosynthetically active radiation, soil temperature, soil water content, wind speed and direction, rainfall and leaf wetness.

Other data are required as input, about vineyards and soil characteristics: geographic informations, soil hydrology, variety characteristics and vineyard management informations.

Soil parameters (b parameter, hydraulic conductivity, soil porosity, wilting point, field capacity, saturated soil moisture potential, soil thermal capacity) are necessary data and they can be defined according to empirical equations (Saxton and Rawls, 2006) by means of organic, sand and clay soil percentage or according with the U.S. Dept. of Agriculture soil textural classes (Clapp and Hornberger,



1978; McCumber and Pielke, 1981; Tremback and Kessler, 1985) by means of a soil type number.

Data required about vineyard and cultivar characteristics are: soil layers number, soil layers type, soil layers depth, plant density, thermal thresholds, sugar content value at harvest, number of cluster/plant and berries/cluster. Data about vineyard management are also required: days and severity of trimming and thinning.

The IVINE model requires to set some experimental parameters depending on the cultivar. At the moment the model has been optimized for Nebbiolo cultivar, since in Piedmont the most famous wines are derived by this kind of grape.

The main model outputs are: the predawn leaf water potential, the timing of the main phenological phases, the leaf development, the yield and the sugar concentration.

The predawn leaf water potential (kPa) is calculated from the phenological phase of bud-burst by means of layers soil water potential and layers roots fraction.

The main simulated phenological phases (julian day) are: dormancy break, bud-burst, flowering, fruit-set, beginning of ripening, veraison and harvest, their simulation occurs by means of thermal thresholds and berry sugar concentration.

The phenological phase of dormancy break is simulated by means of chilling units, its calculation starts on August 1<sup>st</sup> and the phenological phase occurs when a critical amount of chilling units is reached.

The calculation of bud-burst starts at dormancy break by means of growing degree hours and stops when a critical sum of growing degree hours is reached.

The phenological phases of flowering and fruit-set are simulated by means of growing degree days, their calculations start respectively at bud-burst and flowering and stop when a critical amount of growing degree days is reached.

The calculation of beginning of ripening, veraison and harvest occurs by means of the thresholds of growing degree days and critical values of berry sugar content.

The leaf development (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) is represented by leaf area index (LAI) and its calculation occurs by means of: a rate of expansion of leaf area, a function of daily air temperature, the vineyard plant density and a water status index. The simulation starts on bud-burst and stops from veraison; from October 1<sup>st</sup>, leaf senescence is considered.

The simulation of berry sugar content occurs by means of a double sigmoid curve function of the thermal time and the cultivar sugar content value at the harvest. The calculation starts from the flowering phenological phase.

The yield (kg/vine) is simulated by means of photosynthesis process from the flowering phase, and the harvest time is reached according with the value of berries sugar concentration: it is 25.5 °Brix for Nebbiolo cultivar. A multiplicative factor accounting for number of clusters and berries, depending on cultivar, allows the calculation of dry matter accumulation into vine clusters.

The others output of IVINE model are: leaf area/crop weight index, crop temperature, berry water content, net

short-wave and long-wave radiations and evapotranspiration.

Input data for IVINE were partially taken from the output of the run of a third generation land surface model named UTOPIA (University of Torino model of land Process Interaction with Atmosphere) (Cassardo, 2015). This run, in turn, has used as input data the dataset extracted from the gridded database GLDAS2.0 (Global Land Data Assimilation System version 2.0), which contains data from 1948 to 2010 with a spatial resolution of 0.25° in longitude and latitude and a temporal resolution of three hours. The following UTOPIA outputs have been used: soil temperature and soil water content. Other data (air temperature, air relative humidity, solar global and photosynthetically active radiations, wind speed, atmospheric pressure) have been directly extracted from GLDAS2.0.

## Results and Discussion

This section contains some preliminary results of the study relatively to the long-term simulations and sensitivity analysis.

The simulations have been performed over a time period of 60 years, from 1950 and 2009, and the domain used for the climatology study is represented by an area of fifteen grid points including most of the famous Piedmontese wine regions (Langhe and Monferrato).

The selected grid points are characterized by different elevations (from 95 m a.s.l. to 623 m a.s.l.) and different type of soil (loam and clay loam).

Time trend, dependence of phenological phases and physiological variables on elevation and soil type are examined for different grid points.

Then, to deduce the effects of elevation and soil type, results of simulations performed in grid points with different values of these parameters have been analyzed.

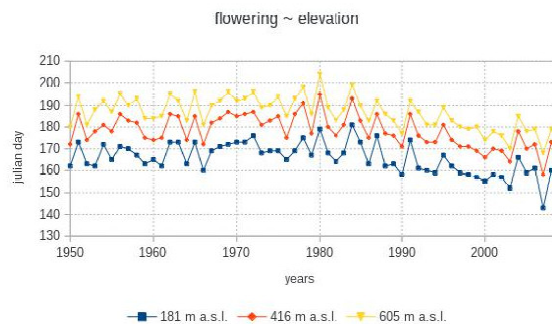


Fig. 1 – Julian day of flowering in the period 1950-2009 in three grid points located at different elevations.

Fig. 1 – Giorno giuliano della fioritura nel periodo 1950-2009 in tre punti griglia situati ad altitudini diverse.

Here phenological phase of flowering and values of berry sugar content evaluated on October 15<sup>th</sup> have been selected and shown in Figs. 1-2.

sugar content ~ elevation

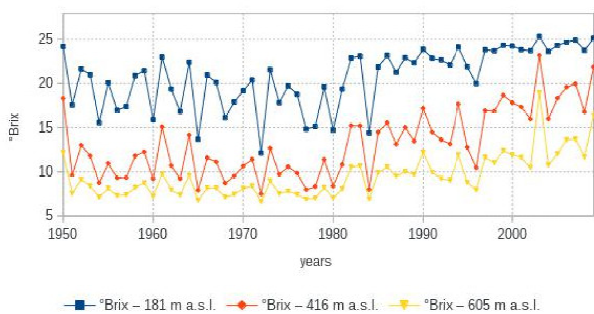


Fig. 2 – Berry sugar content (expressed in °Brix) at October 15th of each year in the period 1950-2009 in the same three grid points of Fig. 1.

Fig. 2 – Contenuto zuccherino dell'acino (in °Brix) al 15 ottobre di ogni anno nel periodo 1950-2009 negli stessi tre punti griglia della Fig. 1.

In the analysis of the results, it is necessary to consider that IVINE model has been calibrated for Nebbiolo cultivar through comparisons with data recorded in the last ten years, thus is representative of the standard practices currently performed. When we compare current values with those referring to the beginning of the simulation (mid part of the 20<sup>th</sup> century), the latter should be interpreted as the values of a plant raised similarly to current plants. Even if this approach could not take into account the evolution of vineyard methodologies in the time, for the same reason it can reveal more efficiently the effects of climate change. The time trend of flowering phase (Fig. 1) and of berry sugar content (Fig. 2) in three different grid points shows clearly the effect of elevation, evident even considering only few hundred meters of elevation difference. In all cases, there is the evidence of a significant trend starting from about 1980, and also interannual variability after 1980 seems decreased. Calculating the trend over the total period, the performed simulations evidence about 5 days of delay for flowering phase and about 2 °Brix of decrease each 100 m of elevation gained.

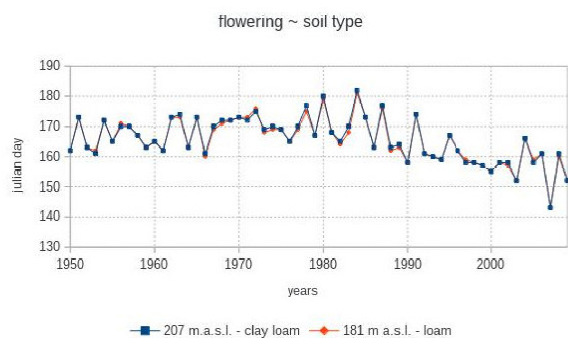


Fig. 3 – Julian day of flowering in the period 1950-2009 in two grid points characterized by a different soil texture.

Fig. 3 – Giorno giuliano della fioritura nel periodo 1950-2009 in due punti griglia caratterizzati da diversa tessitura del suolo.

Regarding flowering phenological phase, in practice the Julian day currently observed at the intermediate grid point (located at 416 m a.s.l.) corresponds to that observed sixty years ago in the lowest grid point (at 181 m a.s.l.). A similar behavior is observed also for the berry sugar content: while 60 to 30 years ago the vineyard located at the intermediate point had very low values of sugar, comparable to those of the highest grid point, since 1980 the values have increased, becoming intermediate.

Compared to the elevation, the soil type plays a smaller role: the date of flowering represented in (Fig. 3) and the berry sugar content (Fig. 4) for two grid points located at very similar elevation but with a different soil texture shows that sometimes loam type soil exhibit anticipated phases and higher values of sugar content with respect to clay loam type. However such differences are very low and seem to be uncorrelated with the date of flowering or sugar content itself, and slightly correlated with the soil moisture content (not shown here).

sugar content ~ soil type

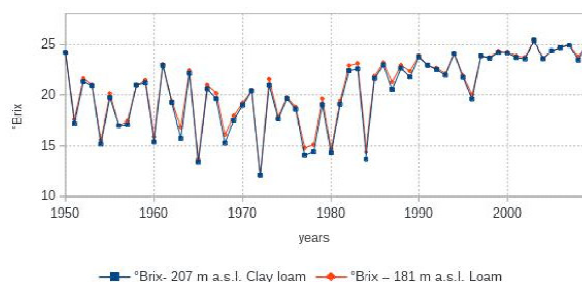


Fig. 4 – Berry sugar content (expressed in °Brix) at October 15th of each year in the period 1950-2009 in the same two grid points of Fig. 3.

Fig. 4 – Contenuto zuccherino dell'acino (in °Brix) al 15 ottobre di ogni anno nel periodo 1950-2009 negli stessi due punti griglia della Fig. 3.

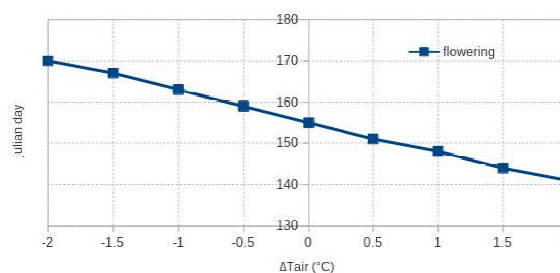


Fig. 5 – Julian day of flowering during 2009 in the nine simulations carried out by summing to air temperature the values reported in abscissa.

Fig. 5 – Giorno giuliano della fioritura nel 2009 nelle nove simulazioni eseguite sommando alla temperatura dell'aria i valori riportati in ascissa.

To understand the importance of the input data and their role in determining the output values, a sensitivity analysis test has been carried out on main input.

Among input variables, the air temperature has been chosen as the primary parameter to be investigated in order to assess its relevance on model behaviour. The impact of input variability has been evaluated on main output variables as phenological phases, berry sugar content, leaf development and yield.

The values of input air temperature have been varied in eight experiments by summing to all air temperatures given in input a fixed value  $\Delta T_{\text{air}}$  equal to -2.0, -1.5, -1.0, ..., +2.0, and +2.5 °C, where the value  $\Delta T_{\text{air}} = 0$  °C corresponds to no changes (control run). Including the control run, we have thus a total of nine experiments. One year of input data has been used for this kind of analysis: in particular, the last year of the selected time period (1950–2009) has been considered. Despite the analysis has been performed on all output variables, here we are commenting the results concerning two parameters – the phenological phase of flowering and the berry sugar content – selected as representative of all parameters.

Fig. 5 shows the results of the sensitivity analysis related to the air temperature on the date of the flowering phase (expressed in julian day) in function of  $\Delta T_{\text{air}}$ . The graph clearly shows the effect of increasing temperature: the flowering phase tends to anticipate for higher values of air temperature. The anticipation is of about 8 days for 1 °C of air temperature increment, and seems to vary almost linearly. Note that this finding is in agreement with the results of Fig. 1 relative to the elevation, considering that, usually, temperature in lower atmosphere decreases of about 0.6 °C every 100 m of elevation.

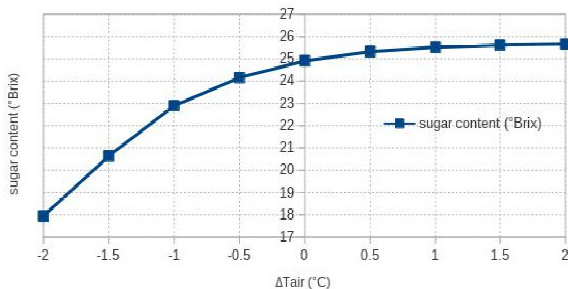


Fig. 6 – Berry sugar content (expressed in °Brix) at October 15th of 2009 in the nine simulations carried out by summing to air temperature the values reported in abscissa.

Fig. 6 – Contenuto zuccherino dell'acino (in °Brix) al 15 ottobre del 2009 nelle nove simulazioni eseguite sommando alla temperatura dell'aria i valori riportati in ascissa.

When we analyze the effects of temperature variation on the berry sugar content evaluated on October 15<sup>th</sup>, shown in Fig. 6, it is clear also in this case that the sugar content increases with increasing temperatures, even if the behavior is not linear. In the proximity of the value  $\Delta T_{\text{air}} = 0$  °C the

variation of sugar content is about 1.1 °Brix for 1°C of air temperature. Note also that, above 1 °C of temperature increment, the value of the berry sugar content seems to reach an asymptotic value of about 25.5 °Brix. This seems an important indication, considering the fact that the berry sugar content is correlated with the alcohol content of the wine.

Other outputs (not shown in this paper) have sensitivities similar to those reported in Fig. 5 and 6: phenological phases vary almost linearly with  $\Delta T_{\text{air}}$  (like in Fig. 5), showing positive trends, except of the dormancy exit, that occurs later with increasing  $\Delta T_{\text{air}}$ . The fact that spring phases anticipate and dormancy exit posticipates means that the period in which the vines prepare for the future vegetative season is shorter if  $\Delta T_{\text{air}}$  increases. This may be an interesting behavior to investigate, in the frame of the occurring climate change.

Physiological parameters often show non linear variations with  $\Delta T_{\text{air}}$ , as in the case of the berry sugar content shown in Fig. 6, but in every case the variations seem relevant.

Further analyses could be carried out on other input parameters; however air temperature, in the actual version of IVINE, is the variable that influences almost all outputs, directly or indirectly, and thus we expect minor sensitivity to other parameters.

## Conclusions

A crop growth model, named IVINE, has been specifically developed to simulate grapevine growth processes related to environmental conditions. At present the developed model has been optimized and validated only for Nebbiolo cultivar.

Long-term simulations, over a period of sixty years in the past (from 1950 to 2009), have been carried out selecting an area in Piedmont region suitable for the viticulture.

Results indicate significant trends of almost all variables related to physiology and phenology, and seem indicate a strong influence of actual climate change.

The preliminary test of sensitivity analysis highlights the relevant role of the air temperature among the input variables.

The future perspective of this study is a deepening of this kind of analysis, in order to know which input variables have the greatest influence on model results, and quantify the influence.

Furthermore the IVINE model will be optimized for different cultivars and simulations will performed in other regions of Italy.

## References

- Andreoli V., Cassardo C., Cavalletto S., Ferrarese S., Guidoni S., Mania E., Spanna F., 2017. Representation of micrometeorological and physiological parameters with numerical models influencing the vineyard ecosystem: the case of Piemonte (Italy). Geophysical Research Abstracts. Vol.19. EGU2017-17821. Vienna.
- Brisson N. et al., 2003. An overview of the crop model STICS. Europ. J. Agronomy 18: 309-332.

- Cassardo C., 2015. The University of Torino model of land Process Interaction with Atmosphere (UTOPIA) version 2015. Tch. Rep., CCCPR/SSRC-TR-2015-1, CCCPR/SSRC, Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea, 80 pp.
- Cassardo C., Andreoli V., Spanna F., Ferrarese S., Picco S., 2018. Climatology of phenological and other micrometeorological variables parameters in regional vineyard ecosystem in Piedmont (Italy). Geophysical Research Abstracts. Vol.20. EGU2018-13897. Vienna.
- Clapp RB., Hornberger GM., 1978. Empirical Equations for Some Soil Hydraulic Properties. Water Resources Research. Vol.14, n.4, 601-604.
- McCumber MC., Pielke RA., 1981. Simulation of the effects of surface fluxes of heat and moisture in a mesoscale numerical model: 1. Journal of Geophysical Research. 86.
- Poni S., Palliotti A., Bernizzoni F., 2006. Calibration and Evaluation of a STELLA Software-based Daily CO<sub>2</sub> Balance Model in Vitis Vinifera L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 131 (2): 273-283.
- Rossi V., Salinari F., Poni S., Caffi T., Bettati T., 2014. addressing the implementation problem in agricultural decision support systems. The example of Vite.net. Computer and Electronics in Agriculture. 100: 88-99.
- Saxton KE., Rawls WJ., 2006. Soil Water Characteristic Estimate by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1569-1578.
- Tremback CJ., Kessler RL., 1985. A surface temperature and moisture parametrization for use in mesoscale numerical models. Proc. 7th Conf. on Numerical Weather Prediction, American Meteorological Society, Boston. 355-358.

# EVALUATION OF DROUGHT RISK BY COMPARATIVE ANALYSIS OF SPI AND RDI

## VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI SICCIÀ MEDIANTE ANALISI COMPARATIVA DI SPI E RDI

Raffaella Zucaro <sup>1</sup>, Gianfranco Giannerini <sup>1\*</sup>, Fabrizio L. Tascone <sup>1</sup>, Chiara Antinoro <sup>1</sup>

<sup>1</sup> CREA – Research Centre for Policies and Bioeconomy, Roma, Italy.

\*[chiara.antinoro@crea.gov.it](mailto:chiara.antinoro@crea.gov.it)

### Abstract

The last decade has been characterized by significant changes in temperature and alteration in rain distribution, showing increasingly frequent and sensitive deviations from their historical trends. This condition is caused by climate changes that amplify the effect of climatic extremes, such as drought which is a natural and recurrent phenomenon in all climate regimes. Different types of drought correspond to the various elements of the hydrologic cycle. The purpose of this study is a joint approach to assess meteorological and agricultural drought as a result of alteration of rainfall and temperature due to climate change. Two drought indices were applied: the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Reconnaissance Drought Index (RDI). In order to facilitate the processing of climatic indices, the software DrinC (Drought Indices Calculator) was used. The run method is used to determine the characteristics of the drought phenomenon. The proposed methodology provides an overview of drought phenomena: as expected, the results showed that both indices exhibited an overall similar behaviour especially in the North of Italy. This study highlights that, the joint application of the two indices, more accurately defined drought events. This information is extremely useful for the evaluation of drought risk through mitigation measures with the appropriate management of water resources.

### Keywords

Drought, rain distribution, DrinC software, water resource management

### Parole chiave

Siccità, distribuzione delle piogge, software DrinC, gestione delle risorse idriche



# ALADIN PROJECT: SYSTEMS INTEGRATION FOR VARIABLE RATE IRRIGATION

## PROGETTO ALADIN: INTEGRAZIONE DI SISTEMI PER L'IRRIGAZIONE A RATEO VARIABILE

Francesca Ventura<sup>1\*</sup>, Marco Vignudelli<sup>1</sup>, Stefano Anconelli<sup>2</sup>, Tommaso Letterio<sup>2</sup>, Domenico Solimando<sup>2</sup>,  
Luca Domenico Sapia<sup>3</sup>, Paolo Mantovi<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> CER Consorzio per il Canale Emiliano-Romagnolo, via Masi 8, 40137, Bologna (Italy)

<sup>3</sup> ARPAE SIMC Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia Romagna, viale Silvani 6, 40122, Bologna (Italy)

<sup>4</sup> C.R.P.A. S.p.A. Centro Ricerche Produzioni Animali, viale Timavo 43/2 42121 Reggio Emilia, (Italy)

\* francesca.ventura@unibo.it

### Abstract

ALADIN (Agroalimentare Idrointelligente) is a two-year project dedicated to precision irrigation. It integrates different systems for collecting information (monitoring of crop conditions), processing of responses (irrigation prescription maps) and implementation in the field (variable rate irrigating machine). The experimental protocol is tested in four different farms in the Emilia Romagna region on two important crops, maize and tomato. The NDVI index, positively correlated to the crop vigor condition, is used as an indicator of the plants water status. The IRRIFRAME irrigation service, based on integration of NDVI information, produces a prescription map to be supplied to the variable rate irrigating device.

### Keywords

Precision agriculture, variable rate irrigation, drone, satellite NDVI

### Parole chiave

Agricoltura di precisione, irrigazione rateo variabile, drone, satellite, NDVI

### Introduction

Irrigation management in agriculture, in recent years, has become a priority even in geographical areas, such as Emilia Romagna, where it has never been a problem before, thanks to an important river such as the Po, to a shallow watertable, and a wide network of irrigation canals. The precipitation trend has been decreasing for several year, and the new climate shows an increasing frequency of extremely dry summers, the last particularly dramatic in 2017, with values of water deficit up to 90% (ARPAE 2017). Variable rate irrigation (VRI) is one of the possible answers to this change of scenery for agriculture, a type of irrigation that takes into account the heterogeneity of the crop in the field as the most appropriate method to increase the efficiency in the use of water, distributed in the right quantity where needed, at the right time. Several authors have stressed the potential water conservation that has been observed using VRI systems, (Liakos et al., 2017; Hedley and Yule, 2009; Gonzalez Perea et al., 2017) demonstrating more than 20% water saving implementing VRI. The ALADIN project (Agroalimentare Idrointelligente) aims to face these new emergencies in agriculture through the integration of different systems that lead to the creation of a complex platform for variable-rate irrigation. The platform integrates remote monitoring systems, (remote sensing from UAV and satellite) for the NDVI index processing, water irrigation assistance systems (CER IRRIFRAME service) with the irrigation device operating in the field. The NDVI index is used as an indicator of the crop water status. The IRRIFRAME irrigation advice, locally modified on the base of the NDVI, becomes a prescription map to be

supplied to the variable-rate irrigating-machine. The present paper presents some preliminary results of the ALADIN project.

### Materials and Methods

The project experimentation was carried out in five farms in the Emilia Romagna region on two important crops, Maize and Tomato. Details on experimental sites, crops, type of data and number of data, are in Tab.1 and 2. For each plot sampling points were georeferenced, to be able to compare, without any doubt, soil and crop data taken on the ground and remotely, by drone or satellite. At the beginning of the trial, in the aforementioned noteworthy points, some characterizations of the soil have been made, such as nitrates and organic matter, soil moisture, texture, particle size and altimetry, which allowed the initial mapping. The plots were chosen in order to have some dis-uniformity, to test a modulated irrigation application. During each growing season, crop NDVI was measured from the drone (Multispec 4C camera) and retrieved from satellite in the same in 3-4 dates per site per season, as in Tab.1, contemporarily measuring soil moisture, crop characteristic and LAI (LP-80 ceptometer) in the field. Soil moisture was monitored continuously, by means of soil moisture probes directly in the fields. The amount of water to be returned for irrigation was calculated by CER IRRIFRAME service, and then modulated to become precision irrigation according to the characteristics of the field and the stress conditions of the crop, detected remotely and on site. At the end of each season, biometrics and productivity data were

taken, to check for different amount of water influence on yield.

#### Data elaboration.

The first difficulty to consider in this work is the fact that we are going to compare data collected on the ground, and therefore in each of the georeferenced points in the experimental fields, with maps of data detected remotely (drone or satellite), in order to validate them. To do this, remote data have to be reduced to point data, gathered around the georeferenced points. The extension of the buffer area around points was selected in order to minimize the standard deviation of data. Same data elaboration was applied to comparison of NDVI from drone and from satellite (Weier and Herrings, 2000). Both are expressed in maps, but with a different resolution: centimeters for the first, meters for the second. An average of the drone pixel values covered by a Sentinel-2A pixel (10m x 10m) was used for the comparison. For this study, all available Sentinel-2A Level-1C (TOA) and Level-2A (BOA) products were examined for cloud coverage in the study area. Only cloud-free images were downloaded from the official ESA website (<https://scihub.copernicus.eu/>). Images were processed with the software ENVI-IDL 5.4. For each image, an NDVI image was computed using the 10m spatial resolution bands B4 and B8, as follows:

$$NDVI = (\rho(B8) - \rho(B4)) / (\rho(B8) + \rho(B4))$$

then was clipped to the study area extent, and used for the comparison.

Due to the fact that data elaboration was still not completed during the growing season, precision irrigation was decided using both observations, NDVI from UAV and observations on site.

Tab.1 – Experimental sites and crops, during the project.

Tab.1 – Siti sperimentali e colture, nei due anni di progetto.

experimental sites		#	2016	2017	plot area (ha)	georeferenced points
Cadriano CD	Granarolo nell'Emilia (BO)	1 plot	Maize	Maize	0.67	18
Martorano MR	Mezzolara di Budrio (BO)	2 plots	Maize and Tomato		0.80	22
Stuard ST	San Pancrazio (PR)	1 plot	Maize	Tomato	0.75	21
Gagliarducci VG	Vigheffio (PR)	1 plot	Tomato	-	3.28	33
Ciatio CI	Panocchia (PR)	1 plot	-	Maize	7.00	15

Tab. 2 – Type and number of surveys for all experimental sites, for the two years of project.

Tab. 2 – Tipo e numero di rilievi per tutti i siti sperimentali, per i due anni di progetto.

type and number of surveys		2016	2017
soil	soil moisture/crop characteristics in the georeferenced points	17	16
	soil moisture continuously	CD, MR, ST	CD, MR, ST
crop condition	LAI from ceptometer	14	12
	ndvi from drone	14	10
	ndvi from satellite	2	7
crop data	sowing/harvesting date, biometric results, yield		

## Results

The number of elaboration that is possible to do with the large number of data we gathered in the two years of experimentation is quite conspicuous; in this work we will present only a small part of it.

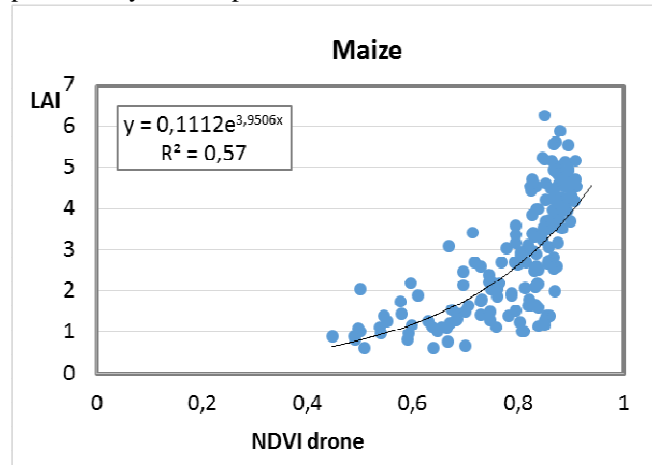


Fig.1- Relation between LAI measured on the ground on Maize, and NDVI from drone in the georeferenced sampling points, for CD, MR and ST, in all dates of 2016.

Fig.1 - Relazione tra LAI misurata a terra su Mais ed NDVI da drone, nei punti di campionamento georeferenziati, per CD, MR e ST, in tutte le date del 2016.

LAI and NDVI are two very different parameters expressing plant vigor, the first obtained from the amount of solar radiation intercepted by crop, the second related to the quality of radiation reflected by the crop. The first measurement method is punctual while the second is at the scale of the square meters. In order to compare the data, the NDVI as a number is extracted from the maps in a neighborhood of the geo-referenced points. The size of this buffer greatly affects the result. In this study, the buffer size is chosen in order to minimize the standard deviation of LAI, and it is a circle of one meter in diameter. Results of comparison between LAI measured on the ground on Maize, and NDVI from drone in the georeferenced sampling points, for CD, MR and ST, in all dates of 2016, is in Fig. 1. The Pearson correlation coefficient calculated from data is 0.71.

Figure 2 shows a LAI map for Maize in Cadriano, in one of the surveys, and the correspondent NDVI from drone. The dots in both maps are the 18 georeferenced points, in the LAI map they are flanked by the values measured. LAI map is built interpolating those data.

NDVI data from the drone are particularly useful because flights can be made when the time is deemed appropriate, in relation to the water conditions of the crop. On the other hand, it is necessary to have this technology available. The satellite data instead, as regards Sentinel 2, are available for free on the web. The comparison between the two data sets, NDVI from satellite and from drone, shows that it is indifferent to use one or the other, because they are very well correlated, as seen for example in Fig. 3. The Pearson correlation coefficient calculated from data is 0.94. The plot

shows data for one survey in Cadriano (Maize), 2016, but similar results were found for Tomato.

Starting from the characteristics of the field and the the crop water status, detected remotely and on site, and from IRRIFRAME irrigation suggestions, a precision irrigation quantity was applied in the field. During the first year, fields were divided in large portions, and irrigation was applied by means of hose reel irrigators, changing the quantity applied increasing/decreasing the velocity of movement of the rain gun in the field.

In the second year, a prototype of intelligent irrigator was ready, and tested in the MR plots. In this case, the variable irrigation volume calculated starting from NDVI by drone is passed directly to the irrigator, which is equipped with a rain wing able to modulate the irrigation with a resolution of 10m, as shown in Figure 4.

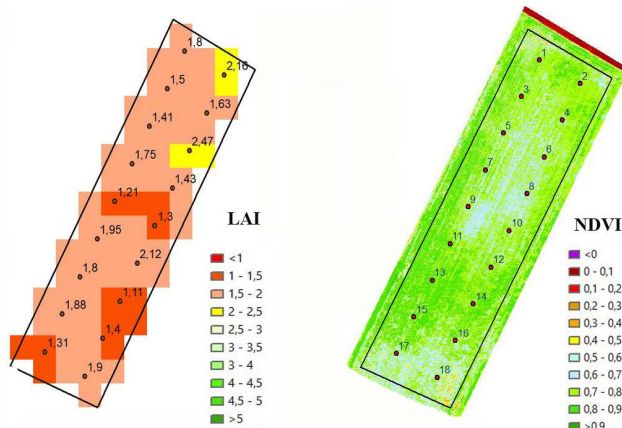


Fig.2- LAI and NDVI maps for the Cadriano plot, Maize, 14/07/2017.

Fig.2 – Mapped di LAI e NDVI per la parcella di Cadriano, mais, il 14/07/2017.

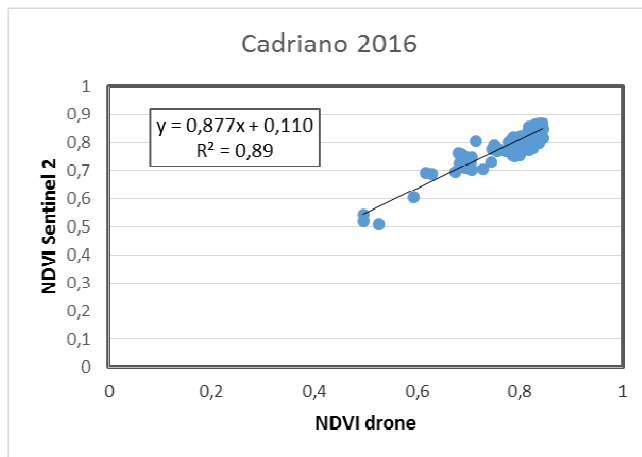


Fig.3- Relation between NDVI from drone and from satellite, for the Cadriano plot, Maize, 27/07/2016 .

Fig.3 - Relazione tra NDVI da drone e da satellite, per la parcella a mais a Cadriano, il 27/7/20162016

In all the years and in all the sites parameters characterizing the yields were measured, for Maize and Tomato. The data for 2017 are still being elaborated, but those of 2016 for

Maize in Cadriano and Marsili, and for Tomato in Marsili, showed that the differences in irrigation amounts do not cause any statistically significant difference in yield for both crops.

### Discussion and Conclusions

The present paper shows some of the preliminary results of the precision irrigation project ALADIN, that aims to integrate different systems for collecting information (monitoring of crop conditions), processing of responses (irrigation prescription maps) and implementation in the field (variable rate irrigating machine). Data elaboration presented several problems related to the kind of data measured, some of the topics were explored and resolved, some other are still under study. In the first group is the relation between LAI measured on the ground, and NDVI from remote (drone or satellite): the first is a punctual quantity, the second spatial. A number of georeferenced point was identified in the field, the spatial data have been turned into areas around the points. The size of the buffer areas was chosen in order to minimize the error. At the moment the NDVI was calculated as the average of all the values included in the buffer, but the median might be a better parameter, in particular with crops sparse or in rows (Tomato).

In order to be able to use the methodology suggested by ALADIN for precision irrigation, a preliminary characterization of the field is necessary, to immediately highlight the inhomogeneities. Subsequently, remote data (drone or satellite) will help to detect the inhomogeneities in the crop, applying the right amount of water in the different areas, to ensure a uniform yield and maximum irrigation efficiency.

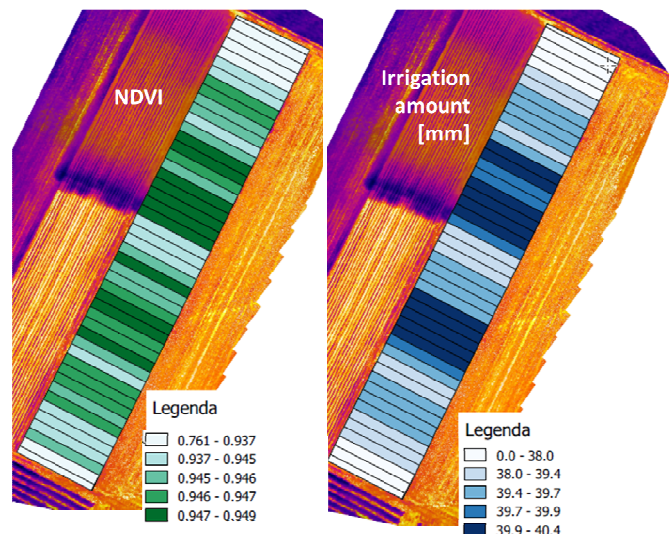


Fig.4- NDVI map for the Marsili plot, Maize, 23/06/2017, and prescription map.

Fig.4 – Mappa di NDVI per la parcella a mais nell'azienda Marsili, il 23/06/2017, e relativa mappa di prescrizione.

Drone and satellite data express the plant vigor index in the same way, which allows using both sources. Since the

satellite data can be downloaded for free from the net, but have a defined time step and may not be available in case of cloudiness, they can be used as a basic monitoring, programming a few drone flights at particularly sensitive phenological phases of the crop (flowering, ripening)

Drone and satellite data have quite a different spatial resolution, going from centimeters for the former to tens of meters for the latter. The variable rate application technologies have an application resolution determined by the irrigation machine capability. For this application the spatial resolution of satellite is appropriate, while the drone resolution is too high and data need to be aggregated. Instead, weed control or variable fertilization rate system could be properly applied only with resolution typical of drone.

Data from Maize and Tomato in 2016 showed no statistically significant difference in yield for both crops, meaning that the VRI had no influence on crop production. Water savings depend on the variability of fields: with relatively homogeneous plots, the difference in water volume, and the consequent water saving, was of 5-10%, up to a maximum of 20%.

### **Aknowledgements**

This research is supported by the project Agroalimentare Idrointelligente (ALADIN), CUP D92I16000030009, Regione Emilia-Romagna POR-FESR 2014-2020.

The Authors thank Professor Renzo Valloni for his leading the project so effectively.

### **References**

- Hedley, C.B., Yule, I.J., 2009. Soil water status mapping and two variable-rate irrigation scenarios. *Precision Agric.* 10 (4), 342–355.
- Esa-Copernicus, 2018.  
<https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2-Products-Specification-DocumentARPAE, 2017>.  
[https://www.arpae.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/meteo/andamento\\_meteo\\_estate\\_2017\\_ER\\_2.pdf](https://www.arpae.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/andamento_meteo_estate_2017_ER_2.pdf)
- Liakos V., Porter W., Liang X., Tucker M. A., McLendon A. and Vellidis G., 2017. Dynamic Variable Rate Irrigation – A Tool for Greatly Improving Water Use Efficiency. *Advances in Animal Biosci.*, 8(2) 557-563 [Paper presented at the 11th European Conference on Precision Agriculture (ECPA 2017), John McIntyre Centre, Edinburgh, UK, July 16–20 2017]
- González Perea R., Daccache A., Rodríguez Díaz J. A., Camacho Poyato E. and Knox J. W., 2017. Modelling impacts of precision irrigation on crop yield and in-field water management. *Precision Agric.* 19 (3), 497–512.
- Weier, J., & Herring, D. (2000). Measuring vegetation (NDVI & EVI). From Earth observatory: [www.earthobservatory.nasa.gov](http://www.earthobservatory.nasa.gov)



# IRRISMART: A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE EVALUATION OF CROP IRRIGATION NEEDS

## IRRISMART: UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER LA VALUTAZIONE DEL FABBISOGNO IRRIGUO DELLE PIANTE

Andrea Di Guardo<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra - Università di Milano Bicocca - piazza della Scienza, 1, 20152 Milano (MI)

<sup>2</sup> Informatica ambientale, via Pacini, 62, 20131, Milano (MI)

\*[diguardo@iambientale.it](mailto:diguardo@iambientale.it)

### Abstract

The agriculture sector has a strong impact on the environment and in particular on natural resources. Water is among the most important natural resources and agriculture uses the biggest amount of water for irrigation. A well-managed irrigation is the way forward to obtain the maximum efficiency for unit of water applied with minimum losses and allowing the ecological sustainability. Several techniques and new technologies have been developed and applied during the last decades in order to foster the crop water supply improving the efficiency. We present an innovative decision support system which couples mathematical models, data from sensors on the field and territorial spatialization for a complete control of available water resources of the farm. IrriSmart implements the LoRaWAN innovative technology of data transmission for sensor data communication.

### Parole chiave

Irrigazione, sistemi di supporto alle decisioni, LoRaWAN, sensori

### Keywords

Irrigation, decision support systems, LoRaWAN, sensors

### Introduzione

In diversi Stati della Comunità Europea lo sfruttamento delle risorse idriche da parte di tutti i settori economici pone seri sfide alla loro conservazione e in diversi casi la domanda supera l'offerta. Come conseguenza, la scarsità idrica porta alla riduzione della portata dei fiumi, all'abbassamento del livello dei laghi e delle acque sotterranee e al depauperamento delle zone umide.

L'agricoltura in Europa utilizza nel suo complesso circa il 24% delle riserve idriche. Questa percentuale varia notevolmente in base alla latitudine e può arrivare a circa lo 80% nel Sud Europa. Italia, Spagna, Francia, Grecia, Romania e Portogallo contabilizzano almeno lo 84% del totale delle aree irrigate della Comunità Europea (Siebert et al., 2013). L'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA, 2012) ha identificato diverse misure per migliorare l'efficienza nell'uso dell'acqua nell'agricoltura Europea: migliorare l'efficienza di irrigazione, modificare le pratiche agricole, riutilizzare le acque di scarto, contrastare l'utilizzo illegale. Il miglioramento dell'efficienza di irrigazione è la misura più importante e che può dare in tempi ragionevoli un risultato consolidato. A questo proposito, Amigues et al. (2006) affermano: "a causa di effetti contrastanti e della variabilità delle precipitazioni (dovuta anche ai cambiamenti climatici in corso), solo un modello di simulazione del sistema suolo-clima-pianta può considerare l'andamento climatico e tutte le contraddizioni del contesto suolo-pianta, permettendo di valutare così quali strategie di risparmio idrico adottare".

In questo articolo approfondiremo la conoscenza di un innovativo sistema di supporto alle decisioni (IRRISmart) per la valutazione del fabbisogno irriguo delle colture che

accoppia modelli matematici di bilancio idrico e di rappresentazione del sistema suolo-pianta dati in real time provenienti dagli appezzamenti monitorati.

### Materiali e Metodi

IRRISmart è costituito da tre componenti principali: a) una base modellistica che valuta l'interazione sito-specifica di meteorologia, suolo e coltura, b) una rete di sensori opportunamente posizionata all'interno dell'azienda che inviano dati di campo alla base modellistica a intervalli prefissati; c) un sistema di supporto alle decisioni che sulla base delle scelte dell'utente parametrizza i modelli e fornisce il set di risultati che più si avvicina alle sue esigenze espandendoli su aree omogenee.

In Figura 1 è riportato lo schema di funzionamento di IRRISmart. Nella fase di installazione vengono identificate le caratteristiche aziendali e le aree che devono essere monitorate dal punto di vista idrico (le cosiddette aree omogenee); di queste aree vengono identificate le differenze pedologiche, la morfologia del terreno, le caratteristiche delle colture (portainnesti e varietà); infine si valutano i punti in cui effettuare il monitoraggio dei parametri ambientali attraverso sensori soppesando sia la completezza delle informazioni che la economicità complessiva. L'identificazione delle aree aziendali omogenee è realizzata attraverso la sovrapposizione di cartografia GIS resa disponibile dall'azienda o prodotta in fase di caratterizzazione aziendale sul software. A regime, le informazioni provenienti dal monitoraggio confluiscono attraverso un protocollo di trasmissione innovativo al sistema di supporto alle decisioni (DSS - Decision Support System), il quale le smista alle diverse istanze modellistiche

(una per area omogenea) e fornisce un insieme di dati di output (tra cui la stima del deficit idrico e l'eventuale consiglio irriguo) il cui scopo e la cui rappresentazione visiva sono mirati ad assistere l'utente nella scelta dell'azione più opportuna.

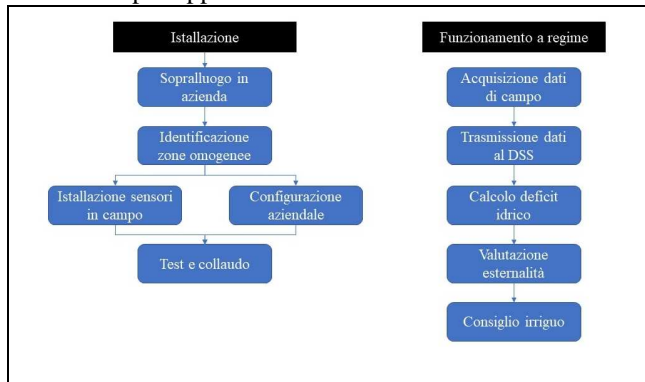


Figura 1 - Flusso di lavoro per istallazione e messa a regime del DSS IRRISmart

Figure 1 – Installation and steady operation of the IRRISmart DSS

Il sistema modellistico si basa su una equazione di bilancio idrico che tiene in considerazione perdite ed apporti idrici attraverso sotto-modelli: le perdite sono per evapotraspirazione, percolazione, ruscellamento e drenaggio, mentre gli apporti sono contabilizzati attraverso le precipitazioni utili, le risalite capillari dalla falda e, ovviamente, le irrigazioni.

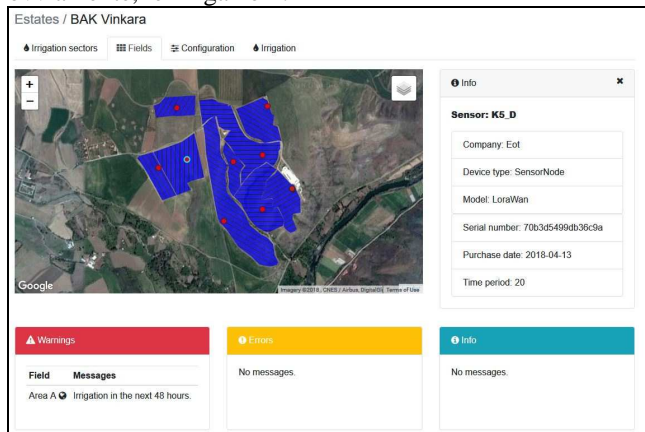


Figura 2 - Front-end del DSS IRRISmart

Figure 2 –IRRISmart DSS front-end

Il fulcro del sistema modellistico è la equazione di evapotraspirazione potenziale secondo la metodologia (Penman-Monteith modificata) descritta nel quaderno FAO56 (Allen et al., 1998), implementata su base oraria. Il calcolo della evapotraspirazione colturale segue in parte il metodo formulato nel quaderno FAO56 e relativa alla divisione tra traspirazione colturale ed evaporazione dal suolo. L'approccio è parzialmente modificato in quanto viene utilizzata la sola parte di traspirazione colturale (Kcb), affidando al sotto-modello denominato Cropsyst

(Stöckle et al., 2003) il calcolo della evaporazione dal suolo. La percolazione è valutata stabilendo il limite pedologico inferiore e suddividendo il suolo in strati di uguale spessore, in ognuno dei quali viene calcolato il contenuto idrico (che, come vedremo più avanti, viene riparametrizzato dai dati provenienti dai sensori in campo). Il contenuto idrico del suolo è anche influenzato dall'utilizzo d'acqua potenziale dalle radici, valutato attraverso la metodologia Epic (Williams, 1995). I dati di input per il sistema modellistico sono i parametri meteorologici per il funzionamento della equazione di evapotraspirazione (umidità, velocità del vento, temperatura dell'aria, radiazione globale) oltre alla precipitazione. I dati sono a scala oraria.

I modelli matematici sono una rappresentazione giocoforza limitata della realtà e diversi fattori influenzano l'affidabilità dei risultati. Per questo motivo il sistema modellistico di IRRISmart è affiancato da una rete di sensori in campo che misurano alcuni parametri sensibili per la valutazione del fabbisogno irriguo e per la correzione in tempo reale dei risultati modellistici. IRRISmart prevede l'istallazione di sensori di umidità del suolo in tecnologia FDR (Frequency Domain Reflectometry) che fornisce una stima sulla base di una variazione della frequenza di un segnale propagato attraverso un sensore di bachelite (Robock et al., 2000). IRRISmart prevede, per ogni punto di monitoraggio e quindi per ogni area omogenea, l'istallazione di un sensore all'altezza dello strato radicale (sensore di controllo) ed uno a circa 15/20 cm posizionato al fine di intercettare l'irrigazione. I sensori sono collegati ad un nodo di acquisizione dati il cui hardware è proprietario e che utilizza, per la trasmissione al sistema centrale un innovativo protocollo denominato LoRaWAN (Long Range Wireless Area Network). Le caratteristiche principali di questa innovativa tecnologia, disponibile dal 2016, sono: a) creazione una rete privata a stella, decisamente più stabile delle reti di tipo mesh utilizzate nella tecnologia WiFi; b) possibilità di istallare sensori a distanze anche superiori ai 15 km dall'accentratore (gateway); c) possibilità di collegare fino a 65000 nodi della rete su singolo accentratore. Il sistema include anche una centralina meteorologica già disponibile su protocollo LoRaWAN.

I dati acquisiti attraverso la rete di sensori in campo vengono trasmessi su rete internet al sistema di supporto delle decisioni, che li smista alle diverse istanze del nucleo modellistico (una istanza per area omogenea).

## Risultati e Discussione

IRRISmart può essere applicato in contesti di pianura o collina, e su diverse colture. In questa sezione descriviamo le sperimentazioni effettuate dal 2016 ad adesso.

Da Maggio ad Ottobre 2016, alcune funzionalità di IRRISmart sono state valutate su 4 particelle non contigue della tenuta vitivinicola Regaleali dei Conti Tasca D'Almerita in contrada Sclafani Bagni (PA). La principale problematica dell'azienda, situata nel centro della Sicilia, è

la scarsità delle risorse idriche disponibili per l'irrigazione e quindi l'obiettivo della sperimentazione è stato quello di valutare l'effettiva possibilità di risparmio irriguo adottando un sistema di Agricoltura di precisione quale IRRISmart. Il confronto con i dati simulati sulle particelle monitorate rispetto ai dati di irrigazione non monitorata su particelle attigue, ha permesso di rilevare un risparmio medio della risorsa acqua intorno al 19/20%. Inoltre, il consiglio irriguo simulato dall'uso del DSS ha previsto un differente pattern temporale di irrigazione rispetto a quanto effettuato nelle particelle non monitorate (gestite secondo consuetudine aziendale): in quest'ultimo caso sono state effettuate tre abbondanti adacquate a distanza di 20 giorni circa una dall'altra, mentre IRRISmart, rilevando la particolare situazione meteorologica del periodo centrale dell'estate (temperature fino a oltre 40°C e umidità diurna di circa 20/25%), ha suggerito turni irrigui più brevi e meno distanziati. Nelle particelle monitorate, quindi, la perdita di produzione è stata contenuta in un valore medio stimato del 15%, mentre in particelle attigue non monitorate il valore medio stimato si è attestato intorno al 30%.

Da Marzo del 2018 IRRISmart è in funzione presso l'azienda vitivinicola BAK Vinkara di kalecik, nella provincia di Ankara (Turchia). L'azienda ha buone disponibilità idriche, ma esiste un problema di uso dell'acqua disponibile: in annate con alte temperature estive e bassissimi livelli di umidità, la dimensione degli acini è eccessivamente piccola, con conseguenti cali di produzione e, a volte, di qualità. La necessità aziendale, in questo caso, è in prima istanza capire se la fertirrigazione raggiunge l'apparato radicale e conseguentemente capire i volumi di adacquamento necessari. IRRISmart è attualmente in funzione su tutta l'azienda con 9 nodi e 18 sensori di umidità installati. Dai primi risultati del monitoraggio si è potuto capire che l'acqua di irrigazione non riesce a raggiungere l'apparato radicale seguendo le quantità finora adottate per i turni irrigui. Si è reso quindi necessario avviare una campagna di sperimentazione per valutare, area omogenea per area omogenea, il corretto apporto idrico minimo efficace.

## Conclusioni

I cambiamenti climatici, i fenomeni meteorologici estremi, l'aumento delle superfici irrigue hanno portato all'attenzione degli addetti ai lavori la tematica del risparmio idrico in agricoltura, da sempre il settore che determina il maggior impatto sul consumo di acqua. L'adozione di tecniche e tecnologie innovative in campo irriguo dimostrano la possibilità di produrre agli stessi livelli riuscendo contemporaneamente ad ottenere risparmi idrici importanti. IRRISmart è un sistema di supporto alle decisioni per la valutazione del fabbisogno irriguo delle piante che può soddisfare differenti necessità aziendali, tutte legate all'efficientamento dell'irrigazione.

## Bibliografia

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998 - Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
- Amigues, J. P., Debaeke, P., Itier, B., Lemaire, G., Seguin, B., Tardieu, F., Thomas, A. (eds), 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, Rapport, Institut national de la recherche agronomique (INRA), France.
- EEA, 2012. Towards efficient use of water resources in Europe. Report 1/2012. European Environmental Agency, Copenhagen K, Denmark. ISSN 1725-9177
- Robock, A., Vinnikok, K.Y., Srinivasan, G., Entin, J.K., Hollinger, S.E., Speranskaya, N.A., Namkhai, A. (2000) - The global soil moisture data bank. *Bullet. Am. Meteorol. Soc.*, 1281-1299
- Siebert, S., Henrich, V., Frenken, K., Burke, J., 2007. Update of the Digital Global Map of Irrigation Areas to Version 5. Universitat Bonn, Bonn, Germany and the Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Stöckle, C.O., Donatelli, M. and Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), pp.289-307.
- Williams, J.R., 1995. The EPIC model. V.P Singh (Ed.), *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications, Littleton, CO.

# GIADA, A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR A DEMAND-DRIVEN IRRIGATION

## GIADA, UN SISTEMA CENTRALIZZATO PER LA GESTIONE DELL'IRRIGAZIONE A DOMANDA

Fabio Zottele<sup>1\*</sup>, Marco Roveri<sup>2</sup>, Elia Rigo<sup>2</sup>, Eros Simoni<sup>3</sup>, Paolo Villa<sup>3</sup>, Giambattista Toller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fondazione E. Mach di San Michele all'Adige, Via E. Mach, 1, 38010 San Michele all'Adige, TN - ITALY

<sup>2</sup> Fondazione Bruno Kessler, Via Sommarive 18, 38123 Povo, TN - ITALY

<sup>3</sup> Euroautomations srl, via Matteotti, 3/B, 38065 Mori, TN - ITALY

\*[fabio.zottele@fmach.it](mailto:fabio.zottele@fmach.it)

### Abstract

GIADA is a centralized system to manage both irrigation and self-regulation to be used in agriculture, green areas, parks and gardens. A central computing system communicates with the peripherals in the field via free-frequency radio. Peripherals can collect environmental data, pressures, flow rates or other measures and can execute commands, adjustments and manage failures and malfunctions. The peripherals in the field are powered by battery and thanks to the low power consumption have a guaranteed duration of 5 years. Peripheral devices can be operated and managed automatically or manually through authentication with an iButton key. Depending on the location, type of cultivation, environmental data and weather forecasts, the central system computes the optimal irrigation value updated in real time leveraging on an expert system. The user see the quantity proposed by the central expert system and decides whether to apply it directly or make corrections. Everything is controlled by a web interface that allows both the user to view all the information related to the irrigated areas and the administrator to manage the entire system. The central system stores all the data that contribute to the functioning of the system, including weather and forecast data, allowing analysis according to the optimization of the process and of the irrigation network and the search for leaks. Moreover, it poses the basis for more precise forecasting leveraging on emerging technologies based on Artificial Intelligence.

### Parole chiave

Irrigazione, cloud, Sistema di supporto alle decisioni, gestione della risorsa irrigua

### Keywords

Irrigation, cloud, Decision Support System, Water resource scheduling

### Introduzione

La corretta gestione della risorsa idrica a fini irrigui è uno dei punti cruciali nel contesto più ampio della gestione agronomica per garantire la produzione primaria e la gestione del verde urbano sia pubblico che privato. Negli ultimi decenni numerosi sono stati gli strumenti proposti per la pianificazione dell'irrigazione come, ad esempio, AQUATER (Acutis *et al.*, 2010) o WISCHE (Almiñana *et al.*, 2009).

Il progetto GIADA (Gestione Irrigua a Domanda Assistita) qui presentato consiste in un sistema di supporto alle decisioni per la gestione dell'acqua a scopo irriguo in cui il software di gestione comunica in tempo reale con le periferiche di campo via protocollo radio a frequenze libere 169 Mhz.

Esistono già soluzioni commerciali che offrono soluzioni di telecontrollo e automazione nel settore irriguo. A differenza dei competitor, GIADA punta su una soluzione che integra a) periferiche di telecontrollo alimentate a batteria e comunicanti tra loro via radio; b) gestione centralizzata degli utenti, delle notifiche, delle tariffazioni, dell'abilitazione e disabilitazione delle bocche di utenza; c) un sistema di identificazione dell'utente che permette all'agricoltore (o al gestore) di gestire autonomamente l'irrigazione in base ad un consiglio irriguo proposto sulla

base di informazioni di campo ottenute in tempo reale e a delle soglie massime di utilizzo preimpostate.

La "periferica" che è stata sviluppata, è ottimizzata per il basso consumo, comunica in maniera bidirezionale tramite il protocollo di comunicazione, è dotata di un'interfaccia utente per la gestione del consiglio irriguo e può raccogliere dati da qualsiasi strumento di misura ad essa collegato in tempo reale o su attivazione come ad esempio l'umidità del suolo, la pressione e la portata nelle condotte di distribuzione. I dati raccolti vengono inviati al centro e concorrono alla costruzione del consiglio irriguo. A livello di utenza il sistema può agire sia autonomamente, sia con un intervento manuale da parte dell'utente con un sistema di autenticazione e tariffazione dei volumi utilizzati.

Nel sistema GIADA è stata prevista una notevole flessibilità nella gestione delle informazioni che riguardano il sistema pianta, terreno, atmosfera (dati storici e previsioni meteorologiche) e rete di distribuzione dell'acqua. Attraverso l'utilizzo del bilancio idrico viene proposto all'utenza un consiglio irriguo che può essere accettato, declinato o corretto (entro i limiti stabiliti contrattualmente con l'ente gestore), mentre il flusso informatico, sia di gestione che di informazione, è visualizzato grazie ad un'interfaccia web. I dati storici vengono registrati ed archiviati sia per poter analizzare l'efficacia del sistema, sia

in previsione di future ottimizzazioni ed estensioni dei servizi del sistema GIADA.

## Materiali e Metodi

Il sistema GIADA è modulare: ogni elemento software o hardware sviluppato nell'ambito del progetto concorre all'obiettivo di calcolare il fabbisogno irriguo necessario alle colture e a trasferire l'informazione fino alla bocca d'utenza dove avverrà la decisione.

L'architettura del sistema è mostrata in Figura 1.

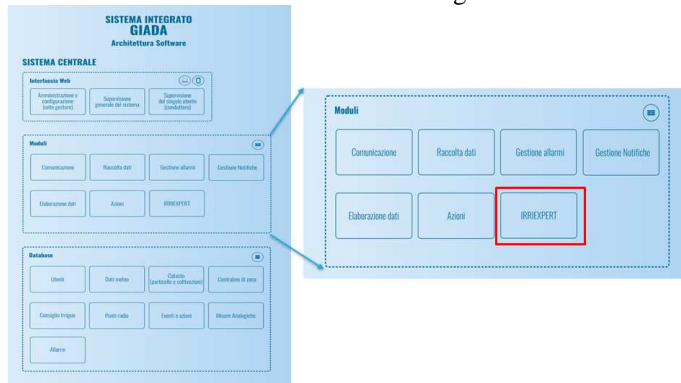


Fig.1 - Architettura di alto livello del sistema GIADA e del modulo IRRIEXPERT. Il sistema software gestisce le informazioni del sistema suolo-pianta-atmosfera e quelle dell'area agricola gestita (tipo di impianto e modalità di somministrazione dell'acqua irrigua), il sistema di calcolo del bilancio irriguo, le utenze ed il sistema per la loro gestione.

Fig.1 - High level architecture of the GIADA system with the IRRIEXPERT module. The software system manages the information of the soil-plant-atmosphere system and those of the agricultural area managed and the system used to manage the irrigation water up to the final user (with its scheduled water) and the module for calculating the irrigation budget.

Al modulo software IRRIEXPERT è delegato il compito di calcolare il consiglio irriguo, ossia il valore ottimale d'acqua irrigua espresso in metri cubi, per a) ogni lotto di terreno b) per ogni bocca di utenza e c) per ogni conduttore tenendo in conto di una moltitudine di parametri significativi per la coltura interessata, delle previsioni meteo, e dello stato fenologico delle colture del terreno agricolo considerato (In Fig. 1 è riportata una visione architetture dell'intero sistema GIADA).

GIADA considera la soglia di portata massima e i turni dei vari conduttori associati ad ogni bocca di utenza in modo che un conduttore non possa superare la soglia di portata assegnata e possa usufruire del servizio di irrigazione solamente all'interno del turno orario assegnatogli.

Il calcolo del consiglio irriguo si basa su un bilancio idrico del terreno mutuato dal sistema Irri4web come già sviluppato da Zottele *et al.* (2010).

A differenza di Irri4web il sistema prevede che il calcolo dell'evapotraspirazione avvenga utilizzando il modello di Penman Monteith (Allen *et al.*, 1998), che sia possibile specializzare il bilancio per numerose colture sia erbacee

che arboree utilizzando opportuni coefficienti colturali legati all'andamento fenologico della pianta. Il modulo IRRIEXPERT, utilizza il modello di Penman Monteith come modello di riferimento per il calcolo dell'evapotraspirazione. Se per qualche motivo (ad esempio la stazione meteo non mette a disposizione tutte le informazioni necessarie per l'applicazione del modello di Penman Monteith, o la stazione è temporaneamente non completamente o totalmente operativa), il sistema utilizza in cascata prima il modello di Hargreaves Samani (Hargreaves e Samani, 1982), più semplice di Penman Monteith in quanto richiede meno dati per il calcolo dell'evapotraspirazione, e se anche questo non è applicabile per la mancanza qualche dato, utilizza un modello ancora più semplificato che usa la media degli ultimi N valori calcolati (dove N è un parametro configurabile dall'operatore, e inizializzato a 10 come valore predefinito). In questo modo, il sistema GIADA è sempre in grado di proporre all'utente un consiglio irriguo.

In particolare, per ottenere una stima del contenuto d'acqua nel terreno attuale e futuro, vengono utilizzate le informazioni raccolte in tempo reale dalle stazioni meteorologiche che fanno riferimento alla rete GIADA e le previsioni meteo fino a 10 giorni utilizzando Application Protocol Interface (API) di servizi di previsione meteo locali, nazionali o mondiali (Fig. 2).

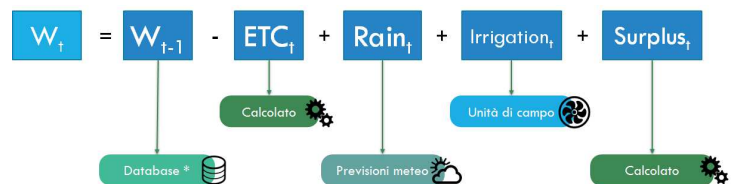


Fig. 2 - Schema di calcolo del bilancio irriguo dell'unità agronomica. Per ogni variabile vengono indicate le sorgente dei dati in ingresso.  $W(t)$  rappresenta il contenuto d'acqua nel terreno,  $t$  rappresenta l'unità di tempo. ETC è l'evapotraspirazione della coltura, Rain la pioggia (misurata dalle stazioni meteorologica o predetta dai servizi di previsione). Irrigation è l'irrigazione somministrata all'unità agronomica, mentre Surplus è la quantità di acqua residua dovuta ad eventi di precipitazione intensa. Per i dettagli si consulti Zottele *et al.* (2010).

Fig. 2 - Calculation of the water budget for an agronomic unit. For each variable the source of the input data is indicated.  $W(t)$  represents the water content in the soil,  $t$  represents the unit of time. ETC is the evapotranspiration of the crop, Rain the rain (measured by meteorological stations or predicted by forecasting services). Irrigation is the dose of water given to the agronomic unit, while Surplus is the amount of residual water due to intense precipitation events. For details, see Zottele *et al.* (2010).

Lo stesso IRRIEXPERT fornisce le API per la visualizzazione dei risultati del bilancio e dei dati utilizzati dall'algoritmo. Per la realizzazione del software e per lo



sviluppo delle API si è utilizzato il framework Django (Burch, 2010) mentre i vari elementi dell'architettura software comunicano attraverso Representational State Transfer (REST, Richardson *et al.*, 2013). Tutti i dati, sia calcolati che acquisiti, sono memorizzati nel database del sistema GIADA basato su MySQL.

Il modulo IRRIEXPERT è in comunicazione con gli elementi del sistema GIADA, in particolare con il sistema hardware, in meccanismo di *feed-in* e *feed-back*.

In dettaglio, le componenti hardware di GIADA sono: un sistema centrale (server applicativi e database) che interagisce con le Unità di Campo (UDC) ognuna delle quali governa la valvola volumetrica della bocca di utenza. Per mezzo dell'UDC, l'utente può effettuare l'autenticazione, visualizzare il consiglio irriguo - calcolato da IRRIEXPERT - e quindi, eventualmente, autorizzare l'erogazione. In questo caso il volume erogato verrà memorizzato ed inserito nell'archivio storico digitale (database).

Per garantire un corretto e robusto sistema di comunicazioni è stata sviluppata un'Unità Centrale (UCE) che rappresenta il punto di partenza e di arrivo di tutte le comunicazioni dal sistema centrale e le UDC. Il sistema di comunicazione via radio è delegato all'Unità Ponte Radio (UPR).

### Risultati e Discussione

Il calcolo del bilancio idrico nel suolo è stato sottoposto a test automatizzati ed indipendenti, sia con misure orarie effettuate dalle stazioni agrometeorologiche della Fondazione Mach, sia con diverse combinazioni dei parametri del modello utilizzato.

Prima di integrare il modulo IRRIEXPERT nel sistema GIADA, sono stati effettuati oltre 5000 test per il controllo della correttezza di calcolo e per la robustezza dell'algoritmo (stress test, corner cases ...).

Particolare attenzione è stata posta nel predisporre il sistema a ricevere i dati di previsione meteorologica da differenti servizi di diffusione di dati sia a livello globale, attualmente forniti da Weather Underground (2018), che locale (fornite da unità meteorologiche installate in campo dal gestore o da eventuali attori privati).

La massa di informazioni raccolta in tempo reale e durante l'inizializzazione del sistema viene gestita nel server centrale che acquisisce ed elabora ogni tipologia di dati (misure meteorologiche, previsioni, misure di consumo, allarmi, eventi notevoli...), calcola con IRRIEXPERT il consiglio irriguo e ne gestisce la schedulazione, salva lo storico, elabora allarmi e notifiche ed, infine, può inviare comandi alle periferiche in maniera autonoma.

Il flusso di informazioni viene smistato dall'UCE verso le UDC via radio. L'UCE è dotato di scheda elettronica dedicata con microprocessore e modulo radio, memorie di lavoro e di archiviazione dedicate al fine di garantire il perfetto flusso delle informazioni verso il sistema centrale e viceversa.

Le comunicazioni vengono gestite dall'UDP che è stata installata su supporti dedicati e consiste in una scheda

elettronica di comunicazione radio, alimentata autonomamente da pannello solare e protetta da doppio case che comunica con l'UDP, alimentata a batteria ed ottimizzata per avere un bassissimo consumo energetico. Attualmente la periferica identifica l'utente attraverso un iButton abilitando così l'irrigazione e comandando gli attuatori (valvole, idranti...) a seconda dei turni e delle condizioni idrauliche del sistema di distribuzione. Inoltre, visualizza il consiglio irriguo mediante display e, per gli utenti abilitati, permette operazioni di manutenzione dell'unità. Infine, è stata prevista la possibilità di salvare i dati raccolti in caso di mancata comunicazione verso l'UCE.



Fig. 3 - Interfaccia web di IRRIEXPERT: nella schermata in alto è possibile visualizzare i dati storici e le previsioni per ogni variabile utilizzata dall'algoritmo di bilancio irriguo (dati istantanei e cumulati). In basso è presentata l'interfaccia webGIS di visualizzazione dello stato della rete di distribuzione dell'acqua irrigua e le informazioni delle Unità di Campo.

Fig 3 - IRRIEXPERT web interface: the top image shows the data (measured and calculated) and the forecasts of each variable used by the irrigation budget algorithm. On the bottom there is the webGIS interface which displays the status of the irrigation water distribution network and the informations of each UDC.

Le informazioni dell'intero sistema GIADA sono consultabili da remoto, via internet, attraverso un'interfaccia web (<http://giada.euroautomations.it>) attraverso la quale può essere visualizzato lo storico di

IRRIEXPERT (Fig. 3). L'interfaccia è stata realizzata per la consultazione su dispositivi fissi e mobili quali tablet e cellulari.

### **Conclusioni**

Sono stati qui presentati i primi risultati del progetto GIADA, ovvero di una piattaforma software e hardware per la gestione dell'acqua irrigua. Il sistema si compone sia di un sistema di supporto alle decisioni, IRRIEXPERT, basato sul calcolo del bilancio idrico del terreno sfruttando informazioni acquisite in tempo reale da fonti eterogenee, sia della parte di comunicazione hardware/software dal centro di elaborazione centrale verso le unità di campo e quindi alla bocca di utenza.

Da questo momento l'intero sistema GIADA verrà testato direttamente in campo ed, attraverso un confronto tra politiche di gestione dell'irrigazione differenti, verranno valutati i benefici dell'utilizzo di questo sistema in termini di risparmio d'acqua a parità di produzione.

### **Ringraziamenti**

Il progetto GIADA (Gestione Irrigua a Domanda Assistita) è stato co-finanziato con Legge Provinciale sugli incentivi alle Imprese (L.P. 6/99 Provincia Autonoma di Trento).

### **Bibliografia**

- Acutis M., Perego A., Bernardoni E., Rinaldi M., 2010. AQUATER Software as a DSS for Irrigation Management in Semi-Arid Mediterranean Areas. *Italian Journal of Agronomy*, 5 (2): 205-216.
- 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. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 300 pp.
- Burch C., 2010. Django a web framework using Python: a tutorial presentation. *Journal of Computing Science in Colleges*. 25 (5): 154-155.
- Almiñana M., Escudero L. F., Landete M., Monge J. F., Rabasa A., Sánchez-Soriano J., 2009. WISCHE: A DSS for water irrigation scheduling. *Omega*, 38 (6): 292-500
- Hargreaves, G., H., Samani Z. A., 1982. Estimating potential evapotranspiration. *J. Irrig. and Drain Engr.*, ASCE, 108(IR3):223-230.
- Richardson L., Amundsen M., Ruby S., 2013. RESTful Web APIs. O'Reilly Media. Sebastopol, Calif, 406 pp.
- Weather Underground (2018). Weather & Forecast web pvider [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com).
- Zottele, F., Toller, G., Eccel, E., 2010. Irri4web: crop water needs definition by webGIS. *Italian Journal of Agrometeorology*, 15 (3): 5-14.

# SYNERGIES AMONG AGRO-METEOROLOGICAL SERVICES OF ITALIAN REGIONS THROUGH THE AGROMETEORE PROJECT

## *SINERGIE TRA I SERVIZI AGROMETEOROLOGICI REGIONALI CON IL PROGETTO AGROMETEORE*

Flora De Natale<sup>1\*</sup>, Roberta Alilla<sup>1</sup>, Giovanni Dal Monte<sup>1</sup>, Chiara Epifani<sup>1</sup>, Stanislao Esposito<sup>1</sup>, Eleonora Gerardi<sup>1</sup>, Barbara Parisse<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CREA-AA - Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria - Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente, Via della Navicella 2-4, 00184, Roma

\*flora.denatale@crea.gov.it

### **Abstract**

In the framework of the National Rural Network, the Agrometeore project aims to improve and expand the availability of data and tools for the agrometeorological services of the Italian administrative regions through the establishment of a National Task-Force on Agrometeorology. After a questionnaire survey concerning the current state of the agrometeorological networks, four working groups were set up, to deepen the following topics: data measurement and database management (standards, missing data, spatial interpolation, data quality, etc), data processing and agrometeorological models, phenological and phytopathological models, agronomic modelling. An additional working group has been set up, which involves less-equipped services, in order to provide them with specific support for the basic requirements. These activities involve most regional services, whose technicians are actively participating in the definition of strategies for sharing resources in the near future.

### **Parole chiave italiano**

Agrometeorologia, partecipazione, standardizzazione

### **Keywords**

Agrometeorology, participation, standardization

### **Introduction**

As largely recognized, also by the recent European policies (CAP 2014-2020, Directive 2009/128/CE on sustainable use of pesticides), the agrometeorology plays a primary role in sustainable agriculture. In particular, agrometeorological resources are strictly necessary to build DSS – decision support systems - to face the challenges derived from climate change and to support farmers in pest management, according to integrated and organic farming principles.

In the framework of the National Rural Network, the Agrometeore project aims to improve and expand the availability of data and tools for the agrometeorological services of the Italian NUTS 2 units (administrative regions and autonomous provinces), through the establishment of a National Task-Force on Agrometeorology (NTFA), focused on stimulating the resource sharing among the regional services and their interoperability.

A preliminary survey on the current state of the art involved all the NTFA regional representatives (Beltrano *et al.*, 2017). It concerned the main features of station networks and data flows, processing and dissemination of regional agrometeorological services and aimed at highlighting their strengths and weakness. The results showed a great heterogeneity among the different NUTS 2 units, ranging from full to partial operability.

Basing on these results, five working groups were set up within the NTFA, in order to define common strategies to strengthen the agrometeorological services. Their activities started in 2017 and are still going on.

In the following an overview of this participation process is provided, concerning topics discussed, some logistic aspects, main issues encountered and first achievements.

### **Materials and Methods**

The first step of the process was to establish the National Task Force on Agrometeorology. This task force has been set up by the Italian Ministry of agricultural, food and forestry policies (MiPAAF) in the framework of the Italian National Rural Network and involves representatives of agrometeorological services (or of services responsible for agrometeorological applications) of the 21 Italian NUTS 2 units (19 administrative regions and 2 autonomous provinces). After a preliminary activity to provide an overview on the current state of the art, mainly based on a questionnaire survey and discussions of its results, the NTFA has set up five working groups to address the main issues raised in the survey. The choice of topics and memberships to working groups has been agreed upon the NTFA members during a plenary meeting. Besides the regional representatives, the working groups are also constituted by other invited external experts from research institutions. The groups are supported by the team of the Agrometeore project which organizes periodical *skype* meetings and coordinates the whole process. Two general goals are common to all groups: to identify the main needs of regional services in the field discussed and to define specific strategies to meet these needs.

The table 1 reports a summary of topics and composition of the working groups.

*Tab.1 – Summary of working groups set up within the National task Force on Agrometeorology: topics and institutions represented*

*Tab.1 – I gruppi di lavoro istituiti dal Tavolo nazionale di coordinamento nel settore dell'agrometeorologia: temi di discussione e istituzioni rappresentate*

Working groups	Topics	Institutions represented
WG-0	General support to meet priority needs	Basilicata, Lazio, Marche, Molise, CREA-AA
WG-1	Data measurement and database management	Basilicata, Calabria, Emilia Romagna, Lazio, Marche, Puglia, Toscana, Provincia Autonoma di Trento, CREA-AA
WG-2	Data processing and agrometeorological modelling	Friuli Venezia Giulia, Lazio, Liguria, Lombardia, Marche, Molise, Toscana, CREA-AA
WG-3	Phytopatological models	Basilicata, Campania, Emilia Romagna, Liguria, Piemonte, Umbria, CREA-AA, Universities
WG-4	Agronomic modelling	Abruzzo, Basilicata, Liguria, Piemonte, CREA-AA

## Results and Discussion

Even though the activities of working groups are still going on, some preliminary results could be presented, mainly concerning the effectiveness of the participation process.

As shown by the table 1, the working groups have involved 16 of the 21 Italian NUTS 2 units.

With reference to the WG-1, devoted to data management, much of the discussion was directed at the need for a shared definition of agrometeorological station, common criteria to choose the optimal density of agrometeorological networks, shared standards for quality control procedures climatologies and for the missing data imputation. With regard to data quality control, all the participants agreed to take as a main reference the guidelines recently set up by the Italian National Institute for Environmental Protection and Research for hydrological variables (Barbero *et al.*, 2017). The current activities focus on the development of guidelines for agrometeorological variables to integrate this last document. In the same framework, a parallel activity promoted by the team of the Agrometeore project, concerns the national agrometeorological database which is stored and managed by the agricultural information system (SIAN) of MiPAAF. The goal is to improve the density of stations and their spatial distribution, by encouraging the regional services to connect some selected regional stations to the national network. As a result, the gridded data set derived by the SIAN from the station data, at a resolution of approximately 10 km, would improve its accuracy and usefulness for all the end-users. This activity, which has already begun in recent decades, could take advantages from the on-going process, but it is highly affected by a

number of formal and technical issues related to the discontinuous maintenance of the SIAN national agrometeorological database.

The WG-2 has paid a particular attention to the data properties needed for modelling applications, like temporal and spatial resolutions, suitable metadata, and availability of long time-series. As a final result, this group aims at defining a minimum set of requirements of data for effective modelling applications.

As regards the phyto-pathological and entomological modelling, the WG-3 is involved in a recognition of the main models operationally applied over the Italian area, grouped according to free and proprietary development models. The final goal is to identify a minimum shared set of tools and models already implemented or to be implemented on a common modelling platform, available for all the regional services. The group aims also at defining the optimal configuration of services (in terms of scale chosen and outputs expected) developed on the common platform. A special effort will be devoted to promote the interoperability among the selected models and the different agricultural contexts.

The WG-4 is focused on agronomic modelling, that plays a key role for meeting the commitments derived by the Rural Development policies, with particular regard to the practices of integrated and organic farming. The participants agreed to carry out a detailed survey, within the NTFA, to define the needs of regional services, in terms of models to be implemented and services to be developed.

With particular reference to WG-3 and WG-4, the participation of CREA-AA experts has allowed to present the modeling platform BioMA - Biophysical Model Applications (<https://en.wikipedia.org/wiki/BioMA>), which is a component, re-use oriented modeling platform, currently used by the MARS unit of the European Commission to simulate agricultural production under scenarios of climate change. The platform also includes a modeling framework composed by four extensible software libraries targeting the modelling of a generic fungal plant diseases (Bregaglio and Donatelli, 2015). BioMA is freely available and represents an important opportunity to meet most of the needs showed by the regional services. The WG participants have confirmed their interest in training in the use of the platform and in testing the available tools. The recognition of specific regional needs carried out within the working groups will be an useful basis to drive the future developments of BioMa.

Finally the WG-0 group was set up by the NTFA with more operational goals, to support some regional services in addressing their priority needs, in terms of data and/or model availability. Most of the regions represented in this group have to cope with critical issues, which don't allow them to meet the main commitments regarding agrometeorology. The strategies defined to give them the necessary support included on one side the opportunity to access through specific web services to agrometeorological data provided at national level by the SIAN, and, on the other side, the possibility to develop *ad hoc* procedures,

with the support of the expert members, to achieve a minimum set of agrometeorological products for the end-user.

Unfortunately, the discontinuous maintenance of the SIAN national agrometeorological database (as already reported) has hampered to make available for all regions the gridded data set and their related time series.

With reference to the direct support provided to the regional representatives within the WG-0, a preliminary test has been carried out for the Region Lazio. In order to estimate the phenology of the olive tree and the grapevine in this region, a complete dataset at hourly time step was built, basing on the raw daily data of its agrometeorological stations. After quality check (according to Barbero *et al.*, 2017), and gap filling, these data were used to generate the hourly values of minimum and maximum air temperature for each station, following the method of Parton and Logan (1981), as input for phenological models. The performances of the models were assessed by comparing simulated values with the corresponding phenological observations.

### Conclusions

The National Task Force on Agrometeorology can play a primary role in strengthening the resources of the regional agrometeorological services, by promoting the sharing of knowledge and data and the transfer of the research results to the agricultural sector. The large participation of regional representatives in the activities of the working groups is an important starting point to develop or enhance synergies, which could benefit all participants.

Among the critical issues discussed within the working groups, the availability of accurate and complete data sets of agrometeorological variables is still an urgent necessity for some services. In this field, the MiPAAF agricultural

information system (SIAN) could play a primary role in providing basic data sets to all regional services. Unfortunately, its intermittent maintenance has to far hinder the necessary continuity of this important data source.

On the other hand, the recognition of the operative modeling tools suitable for agrometeorological applications and in particular the opportunity to adopt the BioMA modeling platform, developed by the CREA-AA and accessible for free online, are important milestones for better coordination and better effectiveness of agrometeorological services in the future.

### Acknowledgements

This paper is possible thanks to research promoted by the National Rural Network 2014-2020. Special thanks are due to Pasquale Falzarano, representative of the Ministry of Agricultural, Food and Forestry Policies, and all regional representatives and experts for their precious participation to the activities of the National Task-Force on Agrometeorology.

### References

- Barbero S. et al., 2017. Linee guida per il controllo di validità dei dati idro-meteorologici. ISPRA – Manuali e Linee Guida 156/2017. Roma, 2017.
- Beltrano M. C., De Natale F., Esposito S., Parisse B., 2017. A survey on regional agrometeorological networks in Italy. Ventura F., Seddaiu G., Cola G. (a cura di), Atti del XX Convegno AIAM e XLVI Convegno SIA, 38-42, ISBN 9788898010707, DOI 10.6092/unibo/amsacta/5692
- Parton W., Logan J., 1981. A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agric. Meteor.*, 23: 205–216.
- Bregaglio S., Donatelli M. A set of software components for the simulation of plant airborne diseases. *Environ. Model. Softw.* 2015;72:426–444.



# PRELIMINARY STUDY FOR A BIOCLIMATIC CLASSIFICATION OF FRIULI VENEZIA GIULIA AND ITS POTENTIAL FUTURE VARIATION RELATED TO CLIMATE CHANGE

## STUDIO PRELIMINARE PER UNA CLASSIFICAZIONE BIOCLIMATICA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA E SUA POSSIBILE VARIAZIONE FUTURA A SEGUITO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Andrea Cicogna<sup>1\*</sup>, Valentina Gallina<sup>2</sup>, Stefano Micheletti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ARPA-FVG – S.O.C. Osmer, Via Natisone, 43, 33057 Palmanova (UD)

<sup>2</sup> ICTP - International Centre for Theoretical Physics- Trieste

\*[andrea.cicogna@arpa.fvg.it](mailto:andrea.cicogna@arpa.fvg.it)

### Abstract

Friuli Venezia Giulia was classified using the Köppen and Pavari index within the weather data from 1961 to 2010. Therefore, the index was also evaluated for the future considering climate change scenarios using 5 climate models from EURO-CORDEX and MED-CORDEX for the emission scenarios RCP 2.6, 4.5 and 8.5. The results highlight that the areas characterized by microthermal conifers in the present would be reduced a lot in the most severe emission scenario (RCP 8.5), considering the investigated climatology. Moreover, in the future mountain climates, ETH in Köppen and *Alpinetum* in Pavari, should be not represented at all. *Fagetum* and *Castenetum* would be subjected by a decline and would be represented only in the high altitudes. The increase would be related to the hotter mesothermal climates, Cfa in Köppen and *Lauretum* for Pavari.

### Parole chiave

Friuli Venezia Giulia, Cambiamenti Climatici, Köppen, Pavari

### Keywords

Friuli Venezia Giulia, Climate Change, Köppen, Pavari

\* Lavoro realizzato nell' ambito dello " Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia " promosso dalla Regione autonoma Friuli Venezia Giulia - Assessorato all'ambiente ed energia e finanziato con deliberazione della Giunta regionale n. 1890 del 7.10.2016.

### Introduzione

L'analisi congiunta dei fattori che determinano il clima di una specifica regione (pioggia, temperatura, vento, ecc.), attraverso adeguati criteri di classificazione, consente di ridurre la grande variabilità climatica presente sul nostro pianeta a scale più facilmente utilizzabili. Per questo motivo nel tempo sono state proposte varie classificazioni climatiche, spesso utili per campi di applicazione molto specifici. Ricordiamo ad esempio indici come quello idrometrico di Amman, che classifica il clima in funzione dell'influenza del mare (De Philippis 1937). Tra gli indici di aridità ricordiamo quello di de Martonne (1926) o l'UNEP, indice ufficiale per l'ONU, o ancora il Bagnouls-Gaussien (1957). L'indice di Lang classifica il clima in funzione della formazione di humus nel terreno (Pinna, 1977). Molto utilizzati sono poi gli indici che discriminano i climi in funzione della distribuzione geografica delle associazioni vegetali.

Il clima infatti esercita un ruolo dominante sulla distribuzione dei principali tipi di vegetazione naturali. Ad esempio in Italia, a partire dalle zone più calde e spostandosi verso le più fredde, si assiste al passaggio di fasce di vegetazione che vanno dai boschi sempreverdi mediterranei, a quelli temperati caducifogli, fino a quelli dominati da conifere microterme (Bernetti, 2007).

Le classificazioni bioclimatiche di questo genere proposte dalla letteratura sono numerose: si passa dai lavori pionieristici di Heinrich Mayr del 1906 fino alla più recente Worldwide Bioclimat Classification proposta da Rivas Martinez alla fine del secolo scorso, variamente sperimentata anche in Italia (Pesaresi *et al.*, 2014).

In questo lavoro tratteremo la classificazione climatica del Friuli Venezia Giulia secondo due indici bioclimatici: Köppen (1936) e Pavari (De Philippis, 1937). Il territorio regionale verrà classificato in base a dati climatici registrati nel passato (1961-2010), parallelamente andremo ad indagare come questa classificazione potrà variare nel prossimo futuro in funzione dei cambiamenti climatici in atto. La letteratura già riporta lavori di questo tipo, ricordiamo ad esempio la pubblicazione di Pignatti del 2011, ma con dettaglio territoriale in genere non sufficiente per una classificazione a livello regionale.

### Materiali e metodi

#### Fonte dei dati

I dati storici su cui si basano le elaborazioni e le mappe qui riportate sono stati raccolti dalle seguenti tipologie di stazioni di misura:

- meteorologiche sinottiche, attivate dall'ERSA tra il 1990 e il 1997 ed ora confluite nella rete

meteorologica della Regione Friuli Venezia Giulia, per il periodo dall'attivazione ad oggi;

- termo-pluviometriche e pluviometriche del Servizio Idrografico dello Stato, di cui sono stati utilizzati i dati dal 1961 ad oggi, ed ora confluite nella rete meteorologica della Regione Friuli Venezia Giulia;
- pluviometriche di regioni contermini, per il periodo 1961-2015.

Per gli scenari climatici futuri si fa riferimento all'ensemble di 5 modelli per i periodi 2021-2050 e 2070-2099, secondo gli scenari emissivi RCP 2.6 e RCP 8.5.

Tali 5 modelli sono stati scelti in un data set di 14 sviluppati nell'ambito dei programmi EURO-CORDEX e MED-CORDEX e utilizzati all'interno dello Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG, 2018).

#### Modalità di elaborazione

L'interpolazione dei dati storici è stata effettuata su una griglia regolare di passo 500 x 500 m che si estende dalle coordinate 2313000E,5048000N alle 2435500E, 5169000N (Gauss-Boaga - fuso EST). Dei possibili 59290 teorici punti della griglia (242N x 245E), ne sono stati elaborati solo i 31504 che risultano contenuti all'interno dei confini amministrativi della Regione.

Per quanto riguarda la temperatura, l'interpolazione spaziale dei dati tiene conto della quota, della distanza dal mare, dell'eventuale presenza di una valle e dell'esposizione. I dati pluviometrici sono stati interpolati utilizzando algoritmi di Kriging (Wackernagel, 1998).

Per il calcolo delle mappe termiche relative agli scenari futuri è stato calcolato lo scarto medio nel dominio tra le temperature (mensili e annuali) derivanti dall'ensemble dei 5 modelli climatici prescelti nel periodo 1991-2005 versus i periodi 2021-2050 e 2070-2099 (Tab. 1).

Similmente è stato calcolato il rapporto medio nel dominio tra le piogge (mensili e annuali) derivanti dall'ensemble dei

5 modelli climatici prescelti nel periodo 1976-2005 versus i periodi 2021-2050 e 2070-2099 (Tab. 2).

A partire dai grigliati medi mensili e annuali ricavati dai dati storici delle stazioni della rete meteorologica regionale

*Tab. 1 - Temperature medie (mensili ed annuali) derivanti dall'ensemble dei 5 modelli climatici prescelti nei periodi 1991-2005, 2021-2050 e 2070-2099 per i due scenari emissivi - Scarti (Bias) tra i valori del periodo storico e del futuro. Tutti i valori sono calcolati come media nell'intero dominio analizzato.*

*Tab. 1 - Mean temperatures (monthly and yearly) from the ensemble of the analysed 5 models for the periods 1991-2005, 2021-2050 and 2070-2099 for the emission scenarios RCP 2.6 and 8.5 - Bias between data of the historical and future periods. All the values were calculated as mean of the investigated domain.*

Periodo	variabile	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
1976-2005	Media	-1.4	-0.8	2.3	6.7	11.2	15.0	17.7	17.0	13.1	8.5	3.7	-0.4	7.7
2021-2050 scenario emissivo RPC 2.6	Media	-1.1	-0.3	2.9	7.3	11.7	15.7	18.7	18.3	14.2	9.5	4.5	0.2	8.5
	Bias	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	1.0	1.2	1.1	1.0	0.8	0.6	0.8
2070-2099 scenario emissivo RPC 2.6	Media	-0.9	0.3	3.5	7.4	11.6	15.8	18.5	17.9	14.2	9.5	4.4	0.3	8.5
	Bias	0.5	1.1	1.3	0.8	0.4	0.8	0.8	0.8	1.1	1.0	0.7	0.7	0.8
2021-2050 scenario emissivo RPC 8.5	Media	-0.6	0.7	3.6	7.6	11.9	16.2	19.0	18.5	14.7	10.1	4.8	0.8	8.9
	Bias	0.8	1.5	1.3	0.9	0.8	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6	1.1	1.2	1.2
2070-2099 scenario emissivo RPC 8.5	Media	2.3	3.0	5.8	10.0	14.3	18.8	22.1	21.9	17.8	12.5	7.4	3.5	11.6
	Bias	3.8	3.8	3.5	3.3	3.1	3.8	4.4	4.8	4.7	4.0	3.6	3.9	3.9

*Tab. 2 - Precipitazioni medie (mensili e annuali) derivanti dall'ensemble dei 5 modelli climatici prescelti nei periodi 1991-2005, 2021-2050 e 2070-2099 - Rapporti tra i valori del periodo storico e quelli degli scenari futuri. Tutti i valori sono calcolati come media nell'intero dominio analizzato.*

*Tab. 2 - Mean precipitations (monthly and yearly) from the ensemble of the analysed 5 models for the periods 1991-2005, 2021-2050 and 2070-2099 for the emission scenarios RCP 2.6 and 8.5 - Ratios between data of the historical and future periods. All the values were calculated as mean of the investigated domain.*

Periodo	variabile	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
1976-2005	media	102	97	109	125	137	125	106	111	117	152	140	126	1447
2021-2050 scenario emissivo RPC 2.6	media	113	100	113	131	158	129	104	103	141	153	149	106	1502
	rapporto	1.11	1.04	1.03	1.05	1.16	1.04	0.98	0.93	1.20	1.01	1.06	0.84	1.04
2070-2099 scenario emissivo RPC 2.6	media	128	110	120	151	160	127	109	109	122	165	141	110	1553
	rapporto	1.26	1.14	1.10	1.20	1.16	1.02	1.03	0.98	1.04	1.08	1.01	0.88	1.07
2021-2050 scenario emissivo RPC 8.5	media	97	98	125	132	154	126	102	108	132	161	139	119	1491
	rapporto	0.95	1.01	1.14	1.05	1.12	1.01	0.96	0.97	1.13	1.06	0.99	0.94	1.03
2070-2099 scenario emissivo RPC 8.5	media	141	104	126	129	148	107	78	87	107	161	158	126	1470
	rapporto	1.38	1.08	1.15	1.03	1.08	0.86	0.74	0.78	0.91	1.05	1.13	1.00	1.02

(1991-2005 per la temperatura e 1976-2005 per la pioggia), i *bias* e i rapporti determinati sono stati utilizzati quali parametri di correzione per creare dei nuovi grigliati di dimensione identica a quelli storici e che rappresentano l'andamento termopluviometrico medio mensile e annuale

per i periodi 2021-2050 e 2070-2099 nei due scenari emissivi considerati.

Questo tipo di approccio non tiene conto delle diverse variazioni che possono presentare le diverse zone del territorio in funzione degli intervalli temporali indagati e degli scenari emissivi. Infine, per il calcolo degli indici di Köppen e Pavari, che si basano su dati termopluviometrici, sono state sviluppate opportune routine in Visual Basic. La valutazione della siccità estiva è stata effettuata con l'indice di Bagnoulls– Gausson (1957)

## Risultati

### L'indice di Köppen: classificazione attuale del territorio e possibili variazioni future

Questo indice venne proposto per la prima volta nel 1918 da Wladimir Köppen e successivamente perfezionato sino alla sua edizione definitiva del 1936. Questa classificazione identifica 5 grandi gruppi climatici che caratterizzano il clima dell'intero globo terrestre.

L'inquadramento del Friuli Venezia Giulia attraverso la classificazione di Köppen consente quindi di confrontare il clima della regione con il resto del mondo.

Utilizzando i dati climatici dal 1961 al 2010, la classificazione della regione con tale indice ci restituisce un territorio dove, partendo dall'Adriatico e muovendosi a nord verso le montagne, si incontrano climi via via più freddi (fig. 1A).

Quasi tutta la regione (il 90% del territorio- Tab.3) è caratterizzata da climi mesotermi C (Climi temperati delle medie latitudini) dove il mese più freddo ha una temperatura media inferiore a 18 °C ma superiore a -3 °C e dove almeno in un mese si ha una temperatura media superiore a 10 °C.

Le piogge risultano abbondanti in ogni mese dell'anno (sottoclima umido f), per cui in funzione della temperatura estiva distinguiamo i seguenti sottoclimi:

- Cfa: Con estate molto calda; il mese più caldo ha una temperatura media superiore a 22 °C.
- Cfb: Con estate calda; il mese più caldo ha una temperatura media inferiore a 22 °C ma si contano almeno 4 mesi con temperatura media al di sopra di 10°C.
- Cfc: Con estate fresca e breve; meno di 4 mesi e temperatura media al di sopra di 10°C.

Tab. 3 - Distribuzione della superficie del Friuli Venezia Giulia secondo la classificazione di Köppen nel periodo storico 1961-2010 e nei trentenni futuri 2021-2050, 2070-2099 secondo le ipotesi di variazione termopluviometrica del territorio nei 2 scenari emissivi RCP 2.6 e RCP8.5 derivanti dall'ensemble dei 5 modelli predittivi climatici prescelti.

Tab. 3 - Surface distribution of Friuli Venezia Giulia using the Köppen classification for the historical period 1961-2010 and for the future periods 2021-2050, 2070-2099. The analysis was conducted considering temperature and precipitation variations in the domain for the emission scenarios RCP 2.6 and 8.5 considering the ensemble of the 5 analysed models.

Climi	Sottoclimi	dati storici		scenario emissivo RCP 2.6				scenario emissivo RCP 8.5			
		1961-2010		2021-2050		2070-2099		2021-2050		2070-2099	
		Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Montani	ETH	93	1.2	22	0.3	34	0.4	17	0.2	0	0.0
	Dfc	730	9.3	608	7.8	597	7.6	506	6.4	23	0.3
Microtermi	Dfb	45	0.6	85	1.1	11	0.1	46	0.6	0	0.0
	Cfc	243	3.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	20	0.3
Macrotermi	Cfb	3484	44.4	2848	36.3	3074	39.2	2920	37.2	2056	26.2
	Cfa	3249	41.4	4281	54.6	4129	52.6	4356	55.5	5745	73.2

Nelle zone di maggior quota della regione, sulle Alpi Giulie e Carniche, si incontrano i climi microtermi delle medie latitudini Dfb e soprattutto Dfc dove il mese più freddo ha una temperatura inferiore a -3 °C e la temperatura media del mese più caldo è superiore a 10 °C, l'estate è fresca e breve e si contano meno di 4 mesi con temperatura media al di sopra di 10 °C.

Sulle vette, dove la temperatura del mese più caldo è inferiore ai 10 °C, incontriamo il clima semi-nivale di montagna (ETH).

Dal punto di vista delle superfici si può notare come circa il 10% della superficie regionale afferisca ai climi microtermi, che sono quelli tipici delle conifere (Tab. 3).

Le figure 1B e 1C ci restituiscono la classificazione di Köppen nello scenario emissivo RCP 2.6 per i trentenni futuri 2021-2050 e 2070-2099. Si nota come rispetto alla mappa storica (Fig. 1A) si abbia una diminuzione delle zone in cui è presente il clima Cfb a favore del più caldo Cfa.

Nella Tab. 3 si può quantificare come, in termini percentuali, la superficie del Cfa passi da circa il 42 al 53-55 %. Meno evidente risulta la diminuzione percentuale dei climi microtermi (Dfb e Dfc) mentre si assiste alla quasi scomparsa delle superfici classificate come clima semi-nivale montano (ETH). È interessante notare come non vi sia una variazione significativa delle superfici tra i due trentenni futuri analizzati, ad indicare come nello scenario emissivo in esame (RCP 2.6) si assista ad una sostanziale costanza delle condizioni climatiche future.

Similmente le figure 1D e 1E ci restituiscono la classificazione di Köppen nello scenario emissivo RCP 8.5 per i trentenni futuri 2021-2050 e 2070-2099. Rispetto alla mappa storica (Fig. 1A), si ha una forte differenziazione nelle variazioni previste per il primo e il secondo trentennio.

Mentre nel periodo 2021-2050 la variazione nella classificazione delle superficie regionali è molto simile a quanto previsto per lo scenario emissivo RCP 2.6, nel trentennio 2070-2099 il panorama bioclimatico regionale appare profondamente mutato. Infatti, nel secondo trentennio i climi microtermi, e tanto più quello seminivale montano, quasi spariscono nella classificazione. Aumenta in modo notevolissimo la superficie territoriale dove è presente il sottoclima caldo Cfa che passa dal 41 al 73 % e di converso il Cfb passa dal 44 % al 26 %.

Contrariamente allo scenario RCP 2.6, la variazione verso climi più caldi tra primo e secondo trentennio risulta molto marcata.

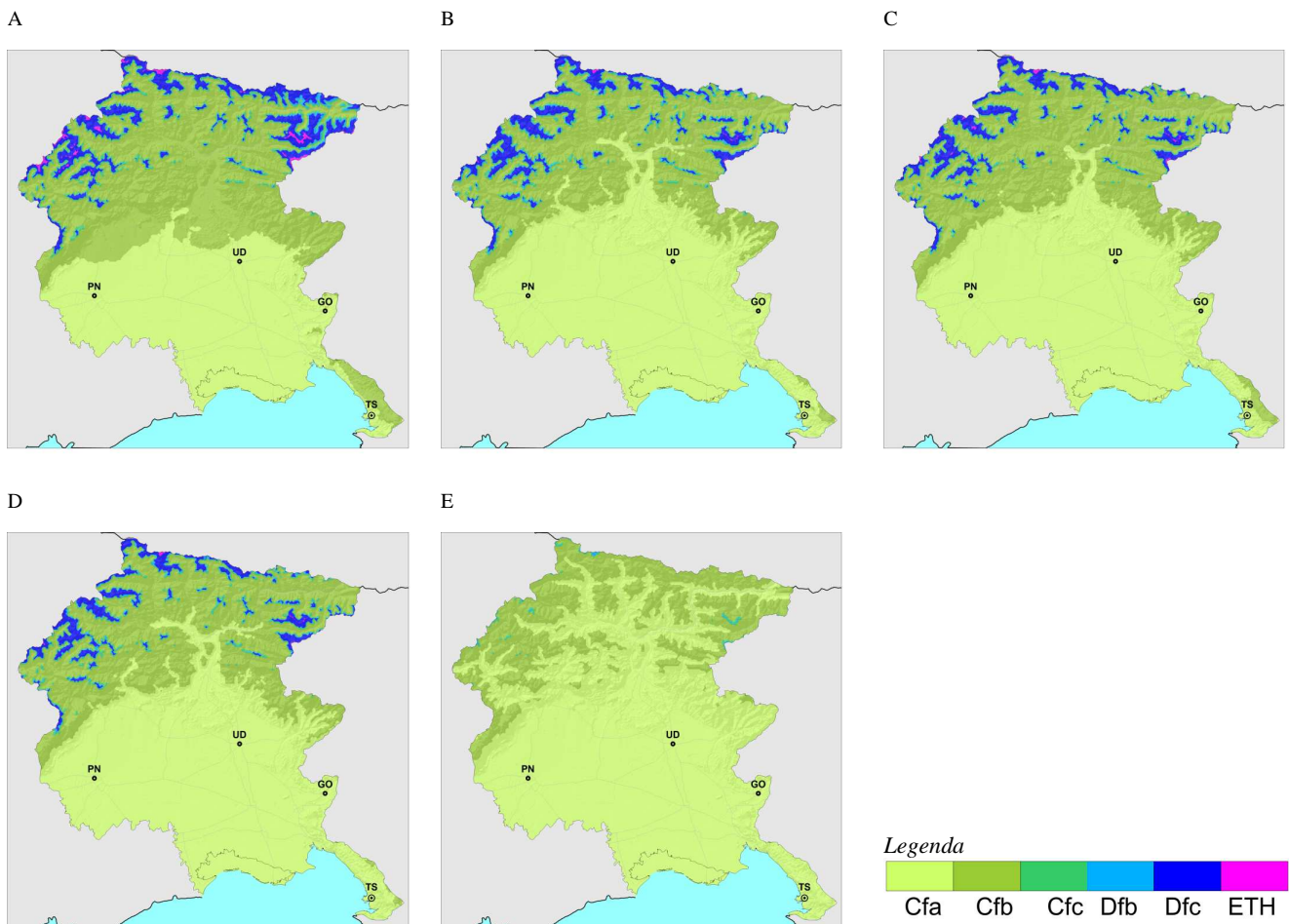


Fig. 1 - Classificazione bioclimatica del Friuli Venezia Giulia secondo la classificazione di Köppen.

A - Dati medi climatici 1961-2010;

B- Periodo 2021-2050 scenario emissivo RCP 2.6;

C- Periodo 2070-2099 scenario emissivo RCP 2.6;

D- Periodo 2021-2050 scenario emissivo RCP 8.5;

E- Periodo 2070-2099 scenario emissivo RCP 8.5

Fig. 1 - Bioclimatic classification of Friuli Venezia Giulia using the Köppen classification.

A - Mean climate data for 1961 - 2010;

B - 2021 - 2050 emission scenario RCP 2.6;

C - 2070 - 2099 emission scenario RCP 2.6;

D - 2021 - 2050 emission scenario RCP 8.5;

E - 2070 - 2099 emission scenario RCP 8.5;

### Indice di Pavari: classificazione attuale del territorio e possibili variazioni future

L'indice elaborato da Aldo Pavari nel 1916 adattando al contesto italiano lo schema proposto da Heinrich Mayr (1906) e integrato da Alessandro De Philippis nel 1937, risulta ancora uno dei più utilizzati a livello nazionale. Questa classificazione fitoclimatica suddivide il territorio italiano in 5 zone, ciascuna associata al nome di una specie vegetale rappresentativa. Il presupposto su cui si basa la suddivisione del territorio in zone fitoclimatiche è l'analogia fra associazioni vegetali simili dislocate in aree geografiche differenti per altitudine e latitudine, ma analoghe per quanto riguarda il regime termico e pluviometrico.

La classificazione usa come parametri climatici di riferimento le temperature medie dell'anno, del mese più caldo, del mese più freddo e le medie dei minimi.

Ogni zona si suddivide in più tipi e sottozone in base alla temperatura e, per alcune zone, alla piovosità (Tab. 4).

In Friuli Venezia Giulia si ritrovano tutte le 5 zone principali proposte da Pavari, ma non tutte le sottozone. In effetti, il clima del passato ci restituisce un territorio dove i climi secchi non sono presenti. Non sono presenti altresì le zone più calde del *Lauretum* (Fig 2A).

Si può notare come oltre la metà del territorio regionale rientri nella zona *Castanetum* caldo umido (Tab. 5), intorno al 22 % del territorio nella zona delle faggete (*Fagetum*) e il 13% nella zona delle abetaie (*Picetum*).

La zona del *Lauretum* freddo e medio interessano le zone lagunari e la costa per una superficie di circa 3700 Km<sup>2</sup> pari al 9 % della superficie regionale; infine molto basse appaiono le zone territoriali classificate come *Alpinetum*.

Tab. 4 - Classificazione fitoclimatica Pavari

Tab. 4 - Phytoclimatic classification from Pavari

Zona fitoclimatica	Sottozona	Connotazione in funzione della piovosità*	Temperatura media			
			Annua	Mese più freddo	Mese più caldo	Media dei minimi
<i>Alpinetum</i>			Anche minore di -2 °C	minore di -20 °C	maggiore di 10 °C	Anche minore di -40 °C
<i>Picetum</i>	Fredda		3-6 °C	Anche minore di -6 °C	maggiore di 15 °C	Anche minore di -30 °C
	Calda		3-6 °C	maggiore di -6 °C		maggiore di -30 °C
<i>Fagetum</i>	Fredda		6-12 °C	maggiore di -4 °C		maggiore di -25 °C
	Calda		7-12 °C	maggiore di -2 °C		maggiore di -20 °C
<i>Castanetum</i>	Fredda	Umida (piogge annue < 700 mm)	10-15 °C	maggiore di -1 °C		maggiore di -15 °C
		Secca (piogge annue > 700 mm)				
	Calda	con siccità estiva	10-15 °C	maggiore di 0 °C		maggiore di -12 °C
		senza siccità estiva				
<i>Lauretum</i>	Fredda	senza siccità estiva	12-17 °C	maggiore di 3 °C		maggiore di -9 °C
		con siccità estiva				
	Media	senza siccità estiva	14-18 °C	maggiore di 5 °C		maggiore di -7 °C
<i>Lauretum</i>	Calda	senza siccità estiva	15-23 °C	maggiore di 7 °C		maggiore di -4 °C
		con siccità estiva				

Le figure 2.B e 2C ci restituiscono la classificazione di Pavari nello scenario emissivo RCP 2.6 per i trentenni futuri 2021-2050 e 2070-2099. Si nota come rispetto alla mappa storica (Fig. 2A) si abbia una forte diminuzione delle zone in cui è presente il fitoclima *Castanetum* caldo umido sostituito dal *Lauretum* freddo. Nella tab.5 si può quantificare come in termini percentuali la superficie del *Castanetum* passi da circa il 50% al 16-18 % e, di converso, la superficie del *Lauretum* freddo passa dal 6% al 43-46 %. Si deve notare che le temperature medie della pianura friulana nel periodo di riferimento 1961-2010 si trovano poco al di sotto dei valori soglia rispetto al passaggio tra una classe e la successiva. Pertanto un effetto così macroscopico sulla variazione della classificazione della pianura regionale è frutto in realtà di una piccola variazione termica. Aggiungiamo che, limitando il periodo di indagine sui dati del passato al ventennio 1991-2010, si può già apprezzare come con questo riferimento più recente la superficie del *Lauretum* sia già molto estesa in pianura (dati non mostrati).

In questo scenario emissivo la variazione degli altri fitoclimi non risulta particolarmente evidente. Come già per

la classificazione di Köppen anche per questa classificazione è interessante notare come non vi sia una variazione significativa delle superfici tra i due trentenni futuri, ad indicare come nello scenario emissivo in esame (RCP 2.6) vi sia una sostanziale costanza delle condizioni climatiche future.

Le figure 2D e 2E ci restituiscono la classificazione di Pavari nello scenario emissivo RCP 8.5 per i trentenni futuri 2021-2050 e 2070-2099. Rispetto alla mappa storica (Fig. 2A), si ha una forte differenziazione nelle variazioni previste per il primo e il secondo trentennio.

Come già per Köppen, mentre nel periodo 2021-2050, la variazione nella classificazione delle superfici regionali è molto simile a quanto previsto per lo scenario emissivo RCP 2.6, nel trentennio 2070-2099 il panorama fitoclimatico regionale appare profondamente mutato.

Infatti, nel secondo trentennio le zone di *Lauretum* aumentano in modo sostanziale passando da un complessivo 9% del periodo storico 1961-2010 al 72%. Di questo 72% solo il 14% rientra nella sottozona fredda mentre il 58% del territorio è classificato come *Lauretum* di sottozona media o calda.

Da sottolineare come l'8 % del territorio regionale, localizzato nella media e bassa pianura friulana, sulla laguna sulla costa e parte del Carso, non solo rientri nella zona del *Lauretum* medio o caldo ma evidenzia anche una siccità estiva. È utile sottolineare che questa valutazione di siccità climatica esula da considerazioni circa la natura dei suoli. Ad esempio già attualmente il Carso è considerato una zona dove durante l'estate il rifornimento idrico delle colture risulta essere limitato, ma questo ha a che fare con la scarsa capacità di ritenuta idrica dei suoli dell'altopiano e non tanto con la pluviometria. Inoltre si assiste alla scomparsa di zone classificate come *Alpinetum* e *Picetum* si riduce a meno del 2 % della superficie regionale. Riguardo alla zona del *Fagetum* si riduce dal 21 al 15 % interessando zone a quota altimetrica più elevata. Il *Castanetum* interessa solo zone di quota e non risulta presente neanche nei fondi valle delle valli alpine regionali più elevate.



Tab. 5- Distribuzione della superficie del Friuli Venezia Giulia secondo la classificazione di Pavari nel periodo storico 1961-2010 e nei trentenni futuri 2021-2050, 2070-2099 secondo le ipotesi di variazione termopluviometrica del territorio nei 2 scenari emissivi RCP 2.6 e RCP8.5 derivanti dall' ensemble dei 5 modelli predittivi

Tab. 5- Surface distribution of Friuli Venezia Giulia using the Pavari classification for the historical period 1961-2010 and for the future periods 2021-2050, 2070-2099. The analysis was conducted considering temperature and precipitation variations in the domain for the emission scenarios RCP 2.6 and 8.5 considering the ensemble of the 5 analysed models.

zona	Sotto zona	connotazione	dati storici 1961-2010		scenario emissivo RCP 2.6				scenario emissivo RCP 8.5			
			2021-2050		2070-2099		2021-2050		2070-2099			
			Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Alpinetum			267	3.4	146	1.9	136	1.7	95	1.2	4	0.0
Picetum	Freddad		1031	13.1	781	10.0	755	9.6	655	8.4	125	1.6
Fagetum	Fredda		132	1.7	268	3.4	196	2.5	238	3.0	0	0.0
Fagetum	Calda		1645	21.0	1557	19.8	1630	20.8	1538	19.6	1145	14.6
Castanetum	Calda	umida	4071	51.9	1410	18.0	1206	15.4	1237	15.8	904	11.5
Lauretum	Fredda	senza siccità estiva	443	5.7	3363	42.9	3599	45.9	3735	47.6	1077	13.7
Lauretum	Media	senza siccità estiva	255	3.2	319	4.1	322	4.1	346	4.4	2266	28.9
Lauretum	Calda	senza siccità estiva	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1690	21.5
Lauretum	Media	con siccità estiva	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	43	0.5
Lauretum	Calda	con siccità estiva	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	591	7.5

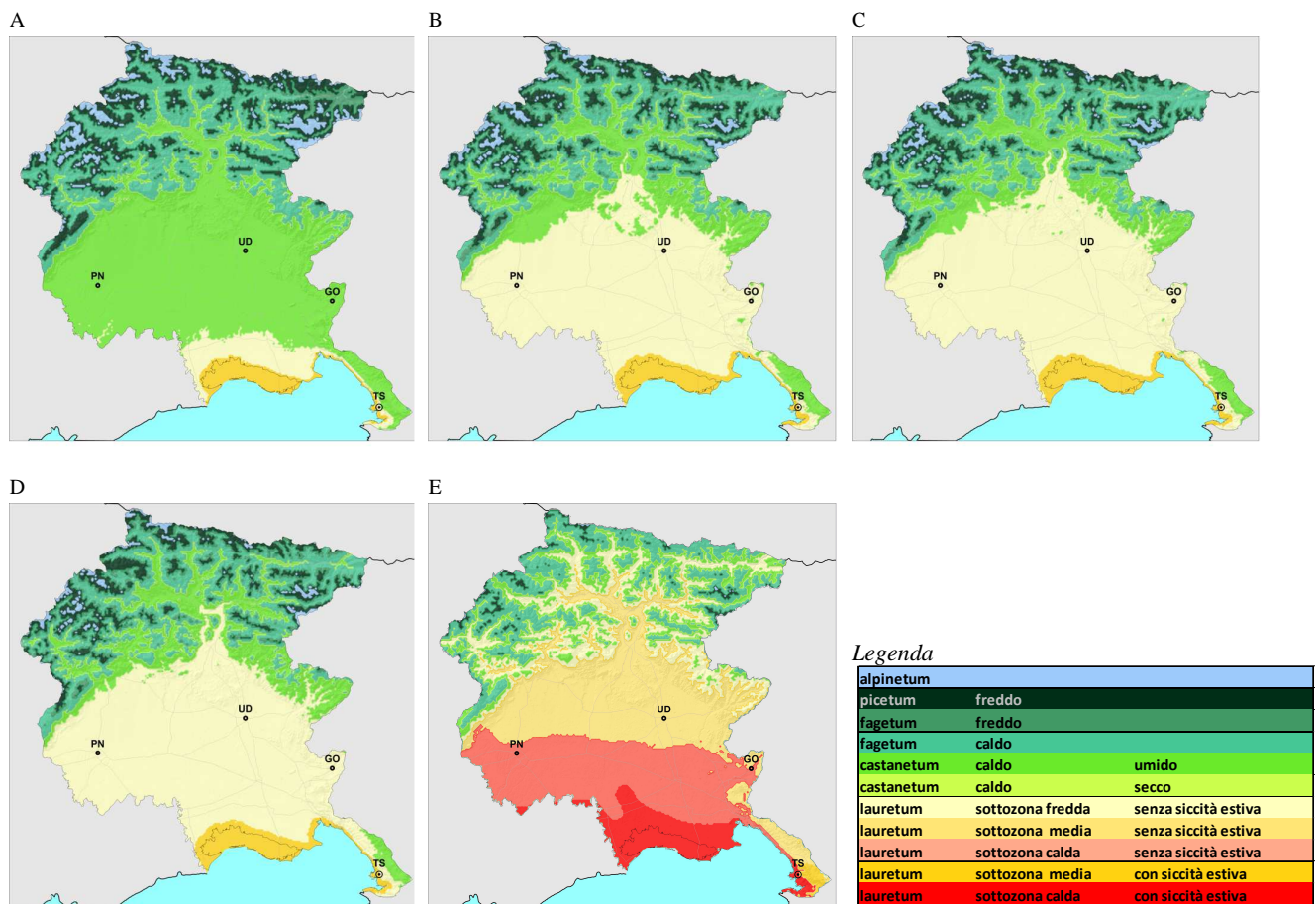


Fig. .2 - Classificazione Fitoclimatica del Friuli Venezia Giulia secondo la classificazione di Pavari. A – Dati medi climatici 1961-2010; B - Periodo 2021-2050 scenario emissivo RCP 2.6; C - Periodo 2070-2099 scenario emissivo RCP 2.6; D - Periodo 2021-2050 scenario emissivo RCP 8.5; E - Periodo 2070-2099 scenario emissivo RCP 8.5

Fig 2. Phytoclimatic classification of Friuli Venezia Giulia using the Pavari classification. A – Mean climate data 1961 – 2010; B – 2021 – 2050 emission scenario RCP 2.6; C – 2070 – 2099 emission scenario RCP 2.6; D – 2021 – 2050 emission scenario RCP 8.5; E – 2070 – 2099 emission scenario RCP 8.5.

## Conclusioni

Il lavoro qui esposto presenta delle ovvie semplificazioni, prima fra tutte l'ipotesi di una variazione uniforme sul territorio del regime termopluviometrico tra il clima presente e quelli futuri. In tale modo la diversificazione territoriale termopluviometrica nei climi futuri riproduce essenzialmente quella storica. Si ritiene comunque che nell'ambito di un lavoro preliminare questa semplificazione possa essere considerata accettabile.

I risultati di questo breve studio illustrano come il panorama vegetazionale del Friuli Venezia Giulia potrà modificarsi nel futuro in funzione dei cambiamenti climatici.

Se consideriamo lo scenario emissivo più severo (RCP 8.5) a fine secolo le zone di elezione delle conifere microterme (ovvero la zona D nella classificazione di Köppen e *Picetum* in quella di Pavari) si ridurranno a percentuali molto limitate. I climi montani, seminivale in Köppen e *Alpinetum* in Pavari, dovrebbero risultare del tutto assenti.

Anche il *Fagetum* e ancor più il *Castenetum* subiranno una forte contrazione e interesseranno solo zone di alta quota, non risultando presenti neppure nei fondivalle delle valli alpine regionali più elevate.

Si assisterà ad un sostanziale aumento dei climi mesotermici più caldi, Cfa nella classificazione di Köppen e *Lauretum* per Pavari. Addirittura una porzione importante della regione sarà fitoclimaticamente classificata come *Lauretum* caldo con siccità estiva. Ricordiamo che in questa sottozona vegetano specie termofile e soprattutto termoxerofile: per le piante arboree spontanee si annoverano tra le latifoglie la sughera, il leccio, il carrubo, l'olivastro e tra le conifere il pino domestico, pino d'Aleppo, il pino marittimo, tutti i cipressi e i ginepri termofili. Per quanto concerne l'agricoltura, il *Lauretum* caldo è l'areale per eccellenza degli agrumi, dell'olivo e del fico. In questa zona climatica vi è la possibilità che diverse cultivar di fruttiferi, tipici dell'agricoltura friulana, come drupacee quali ciliegio o pesco, o pomacee come il melo e il pero, in certi anni non giungano a fruttificare a causa del mancato raggiungimento del fabbisogno in freddo.

La zona del *Lauretum* medio e freddo nello scenario più severo a fine secolo coprirà buona parte della pianura e molti fondivalle alpini. Ricordiamo che questa sottozona fitoclimatica è oggi quella tipica della viticoltura di zone meridionali d'Italia. Si può quindi ipotizzare uno spostamento a quote più elevate e a un generale adattamento agronomico, varietale e tecnico della viticoltura regionale.

Nel panorama emissivo meno severo (RCP 2.6) i panorami vegetativi non subiranno invece delle modifiche sostanziali. Indagini eseguite sull'ensemble degli stessi modelli con un panorama emissivo RCP 4.5 (dati non mostrati) mostrano delle situazioni intermedie a quelle sopra illustrate.

## Bibliografia

- ARPA-FVG, 2018. "Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia" pp. 342 [http://www.meteo.fvg.it/clima/clima\\_fvg/03\\_cambiamenti\\_climatici/01\\_REPORT\\_cambiamenti\\_climatici\\_e\\_impatti\\_per\\_il\\_FVG/impattiCCinFVG\\_marzo2018.pdf](http://www.meteo.fvg.it/clima/clima_fvg/03_cambiamenti_climatici/01_REPORT_cambiamenti_climatici_e_impatti_per_il_FVG/impattiCCinFVG_marzo2018.pdf)
- Bagnouls F., Gaussen H., 1957. Les climats biologiques et leur classification. Ann. Geogr., 66, 355: 193-220.
- Bernetti G., 2007. I nomi delle fasce di vegetazione. In: "Botanica e Selvicoltura". Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Italy, pp. 113-120.
- De Martonne E., 1926. Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. La Météorologie 1 449-459.
- De Philippis A., 1937. Classificazioni ed indici del clima in rapporto alla vegetazione forestale italiana. Nuovo Giornale Botanico Italiano 44: 1-169.
- Heinrich M., 1906. Fremdländische Wald- und Parkbäume für Europa ed. Berlin P. Parey (<https://archive.org/details/fremdlandschew00mayruoft>)
- Köppen W., 1936. Das geographische System der Klimate. In: Handbuch der Klimatologie (Köppen W., Geiger R. eds). IC, Berlin, Germany
- Pesaresi S., Galdenzi D., Biondi E., Casavecchia S., 2014. Bioclimate of Italy: application of the worldwide bioclimatic classification system Journal of Maps Vol. 10, Iss. 4, 2014 pp 538-553
- Pignatti G., 2011. La vegetazione forestale di fronte ad alcuni scenari di cambiamento climatico in Italia. Forest@ 8: 1-12 [online: 2011-02-17] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>
- Pinna M., 1977. Climatologia, UTET, Torino, 1977.
- Wackernagel, 1998. Splines and kriging with drift. Seminar on Data Spatial Distribution in Meteorology and Climatology. EU Cost 79 publication. Edited by M. Bindl and B. Gozzini. Luxembourg, 1998. pp 57-64.

# TERRITORIAL SOLUTIONS AT THE SERVICE OF RURAL DEVELOPMENT POLICIES

## *SOLUZIONI TERRITORIALI AL SERVIZIO DELLE POLITICHE DI SVILUPPO RURALE*

Simone Gabriele Parisi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ABACO S.p.A. Corso Umberto I, 43 46100 Mantova – Italia  
\* corresponding author e-mail s.parisi@abacogroup.eu

### **Abstract**

The Rural Development policies of the imminent future have the following goals:

- enhance the profitability and competitiveness of all types of agriculture and promote innovative technologies for farms and sustainable forest management
- promote the organization of the food supply chain, animal welfare and risk management in the agricultural sector.

These priorities are reflected in the Abaco IT tools, which are first and foremost to support the Paying Agencies of European and non-European countries. In recent years the target has expanded towards realities such as farms, food production chains and livestock sector. IT tools at the service of agriculture are represented by the agrometeorological indicators based on measurements in the field with weather sensors, multi-resolution, drone remote sensing and satellite multispectral bands, all useful input in order to obtain prescription maps.

### **Keywords**

Digital Farming – Remote Sensing – Prescription Maps – Water footprint – Carbon footprint

### **Parole chiave**

Agricoltura digitale – Remote Sensing – Mappe di prescrizione – Impronta idrica – Impronta carbonica

### **Introduction**

Digital technologies can support European farmers in providing safe, sustainable and quality food. They help farmers “produce more with less”, helping also with contribute to fighting climate change. Existing and new technologies such as the internet of things (IoT), Satellite, Unmanned Aerial Vehicle and Big Data can contribute to making processes more efficient and lead to the creation of new products and services.

The European Commission (EC) aims to make the agricultural sector and rural areas in Europe digitalized and data-empowered. Although the digitisation of the farming sector comes with many benefits, and a number of actions and instruments have already been implemented, barriers to realise its full potential across Italy and in general in Europe still exist. In the North America, then big dimension of the farming area, has been automatically a very profitable base for the development of digital farming. Otherwise in Europe, especially in Italy, small farming area and more traditional farming has represented a cultural and practical obstacle to this new agro-tech era. But now the change is gradually coming in Europe too.

Most of the cultivated areas in Italy are located in environments characterized by a high level of pedological, orographic and climatic inhomogeneity. The variability of the physical environment is also found in the growth and production of arboreal and arable crops, which show a high differentiation even in areas of cultivation with limited extensions such as fields of a few hectares.

In this context, the possibility to apply cultivation inputs in a sito-specific manner, depending on the needs, has positive

implications on both economic and environmental sustainability. The current need for the introduction of precision agriculture applications is to have new experts who are able to adopt a systemic multidisciplinary approach that integrates knowledge of computer science, remote sensing, cartography, territorial information systems, agronomic knowledge, in addition to technical skills related to mechanical components.

### **Materials and Methods**

Abaco S.p.a has been working in the direction of digitization for several years, in particular in the management of Big Data aimed at the output of high value-added products for individual companies, consortia and public administrations. The Siti4farmer platform, used in Cloud mode, provides tools aimed at the knowledge and monitoring of the territory, precision agriculture, planning and control of activities in the field.

The portal allows the representation of the territory with an endowment of certified aerial orthophotos and very high resolution (up to 20 cm) accompanied by altimetry of the ground (DTM - Digital Terrain Model) and the above ground, as trees, buildings (DSM - Digital Surface Model). For the digital management of the farm, it is first of all necessary to acquire and register the cadastral data on the platform, a procedure that can be performed manually or totally automatically by importing shapefiles. Then we proceed with the assignment of the appropriate cultural codes (Agea) for a correct compilation of the crop plan, this procedure can also be automated through the import of precompiled excel, containing the cultural codes of interest.

Linked to the aforementioned cultural codes, the phenological scale management according to the BBCH standard is present, the parameterization also includes the average root depth analysis by type of soil and the cultivation coefficients (Kc) for each phenological macrophase.

Once the cultivation plan is complete, Siti4farmer is able to manage the Agricultural Practice activities, which include: sowing, fertilization, weeding, treatments with plant protection products and harvesting, and in general all the activities carried out in the plots of the study. It should be emphasized that the portal is able to manage the data base collected by the instruments in the field.

## **Results and Discussion**

### ***Continuous monitoring through the NDVI vegetation index***

In Siti4farmer there is a large dataset consistent of NDVI and other multispectral indexes calculated from the images taken from the constellation Sentinel 2A and 2B, Landsat 8 during the growing season of the crop. The frequency of shooting images in the case of a clear sky is 4-5 days and the resolution is about 10x10 m. The temporal resolution allows to constantly monitor the trend of the entire vegetative season, capturing its spatial and temporal variability. The spatial resolution for crops with continuous coverage of the surface, such as wheat, is good for carrying out most of the cultivation operations such as weeding, fertilizing, phytochemical treatments.

The possibility to follow, through the software, the vegetation trend throughout the season is the prerequisite for making operational information accessible to the farmer. The NDVI image is processed through the Siti4farmer software with the editing functionality in order to obtain a useful information base for the formulation of the prescription map (fig.1). Obviously, in addition to NDVI images, to edit a prescription map, it is possible to insert many other variables (fig.2), as textural and chemical measurements of the soil, drone maps, and combine them in order to obtain a product as much as possible representative of the real conditions of the field. In order to be able to easily interpret a map both in print (manual reading by the operator) and in digital format (to be imported into the variable rate controller) it is necessary to reclassify the raster, ie divide into classes (usually 3) of percentiles. The reclassification represents a "synthesis" of the conditions of the crop, which makes it easy to plan the agricultural practice of fertilization, irrigation and also the spraying of plant protection products. Once the reclassified map has been created, it can be saved, to be printed or exported to on-board instruments that are able to manage and manage equipment and instruments in variable rates through standard data transmission protocols (ISOBUS) now commonly installed.

### ***Agrometeorological indexes***

In addition to the vegetative indexes (NDVI), starting from the daily meteorological raster (calculated thanks to the meteorological data of the SIR-Toscana network and the 7-

day forecast data), a series of indicators are calculated on the territory: the soil temperature at 10 cm depth, global solar radiation, potential reference crop evapotranspiration (ETo) and real culture evapotranspiration (ETM) and not least the water balance.

For the water balance in addition to the aforementioned meteorological data it's necessary to acquire the farm soil data, necessary to determine the dimension of the "tank" to which the plant can draw water resources (AWC).

### ***The DSS standards***

Based on information from meteorological data and agrometeorological indexes, a series of alarms have been implemented, detecting the following cases:

- 1) soil temperature suitable for sowing;
- 2) uneven vegetative growth: starting from NDVI images, retrieving the standard deviation, in the case of values above a settable threshold, an alert is issued if this threshold is reached.
- 3) index of inhomogeneity within the plot,
- 4) accumulation of insufficient thermal resources for technological ripening / harvesting.

### ***Integration with sensors***

The platform, in addition to offering numerous information layers by default, makes possible to integrate data from sensors installed in the field such as meteorological stations, soil sensors, soil surveys and multispectral imagery from drone. These features increase the quality of the information layers available to the company in the direction of precision and detail.

### ***SitiCloud***

The Siti4farmer products were primarily designed to manage the database and related activities for each company. Abaco also offers the possibility to manage multiple territorial farms in a single module, and "one-shot". Opportunity currently used by companies such as agrarian consortia, cooperatives, social cellars, which actually need to control with an overview several companies (Fig.3 and 4).

SITICloud gives access to the innovative "Siti4farmer" tools, rationalizing data, thus improving productivity and reducing costs. In SITICloud there are analysis functions, simulations and statistics useful for those who must plan large-scale activities and activities.

In addition, there is also an integration with smartphone that makes possible to operate, for example, field surveys with automatic positioning and therefore of the agricultural field to which the measure refers; functionality used by some winery for the relief of diseases and the state of ripening of the grapes in the field.

## **Conclusions**

The introduction of BigData management systems and precision farming techniques has created the chance for new challenges aimed at expanding the possible applications and improving those developed.



All this is facilitated by the use of software such as SITI4farmer that collect all the data of the campaign in a single environment, provide a historical and georeferenced vision (where, when, how) and elaborate information of "decision support". Thanks to new technologies, precision equipment, field sensors and complex algorithms for data processing are now available for all farmers at low cost.

This new way of working in agriculture is the key to increasing and improving production, with a view to sustainability, traceability and adaptability to climate change.

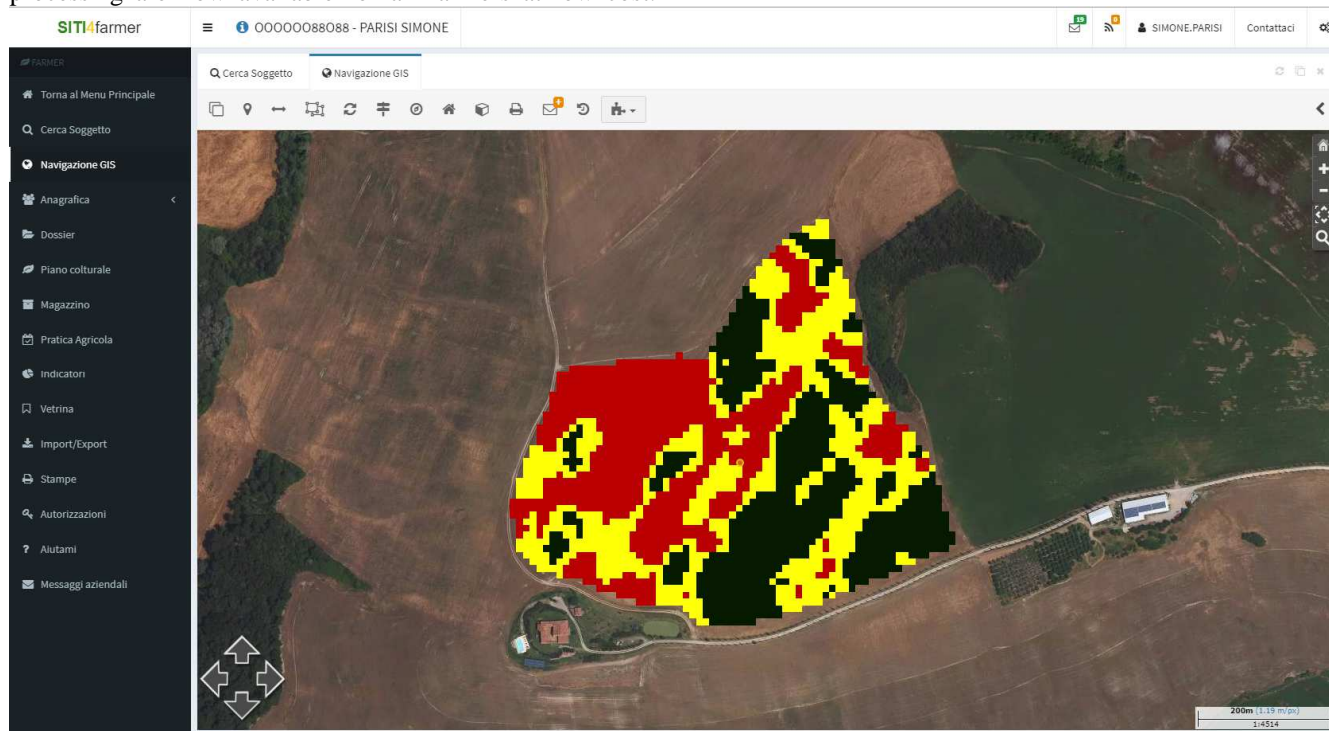


Fig.1 – Mappa di prescrizione. Reclassamento di una immagine NDVI...

Fig. 1 - Prescription Map. Reclassified NDVI image -

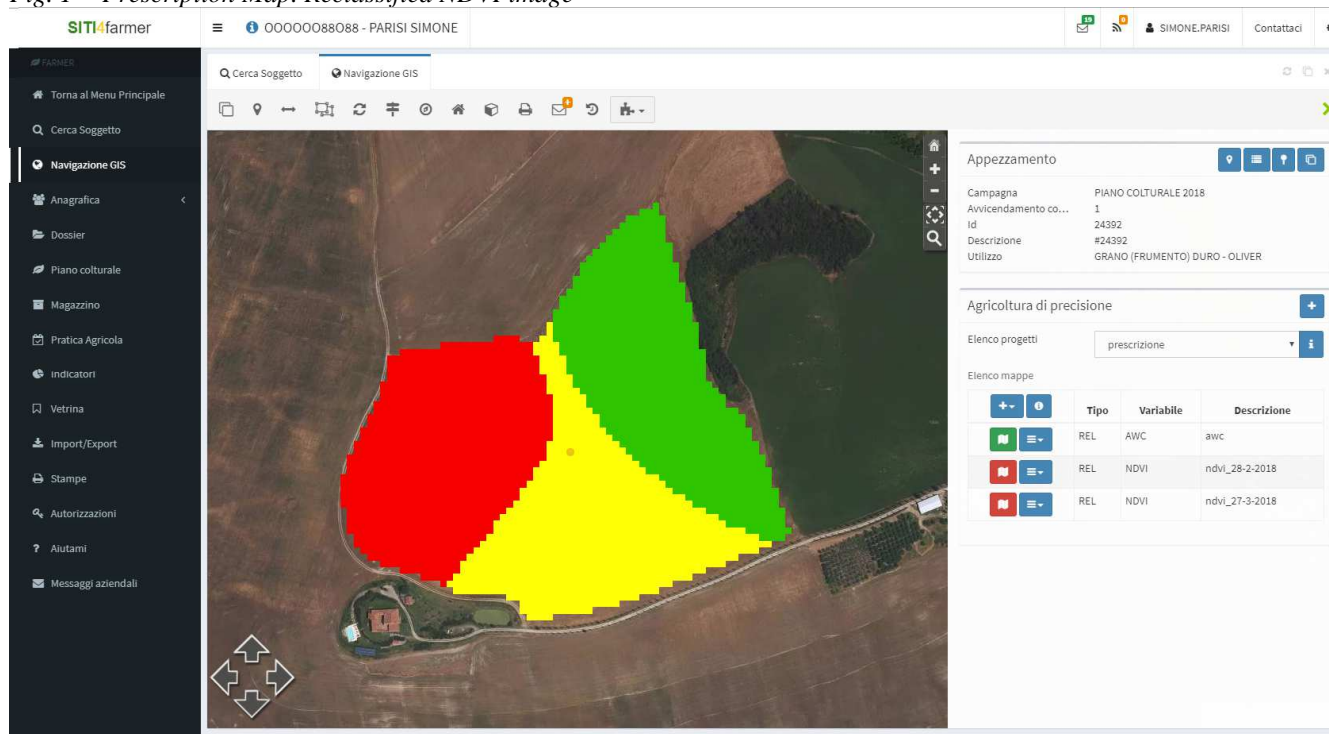


Fig.2 – Mappa di prescrizione. Reclassamento di un raster AWC

Fig. 2 - Prescription Map. Reclassified AWC raster



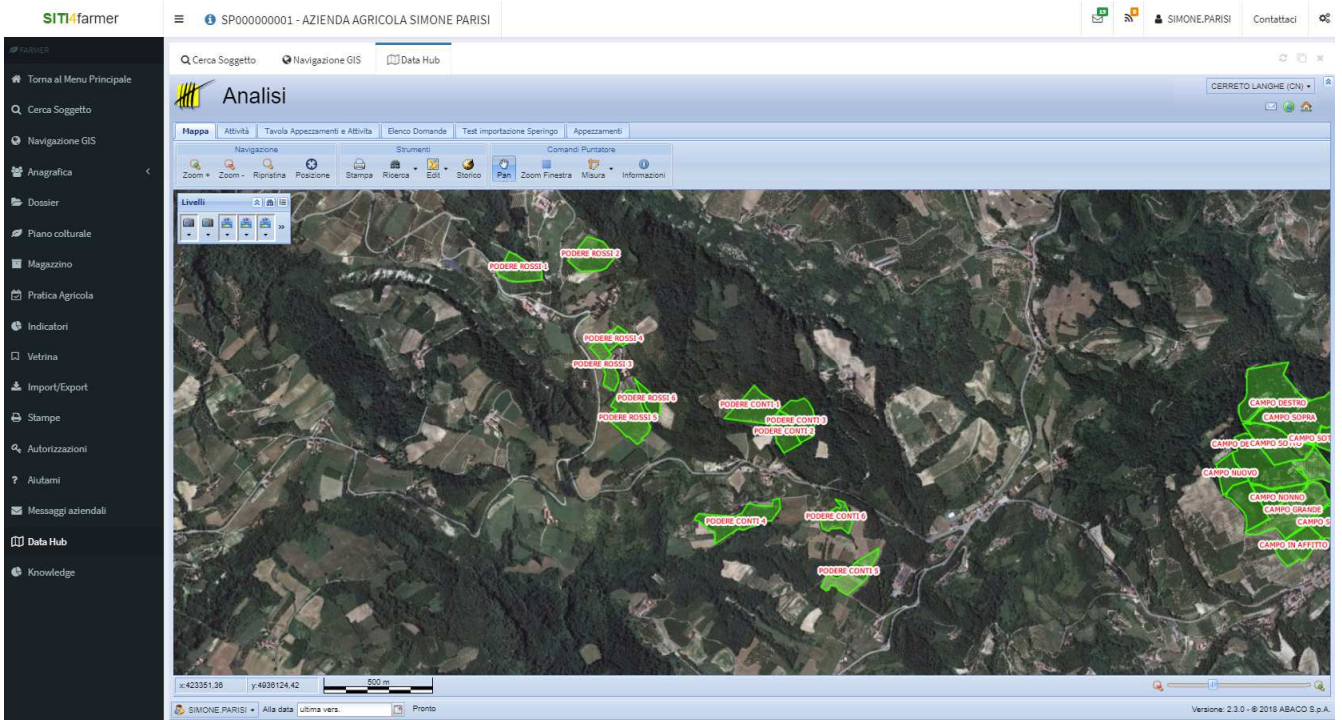


Fig.3 – SitiCloud. Screenshot inquadramento territoriale aziende  
 Fig. 3 - SitiCloud. Screenshot of the farms GIS

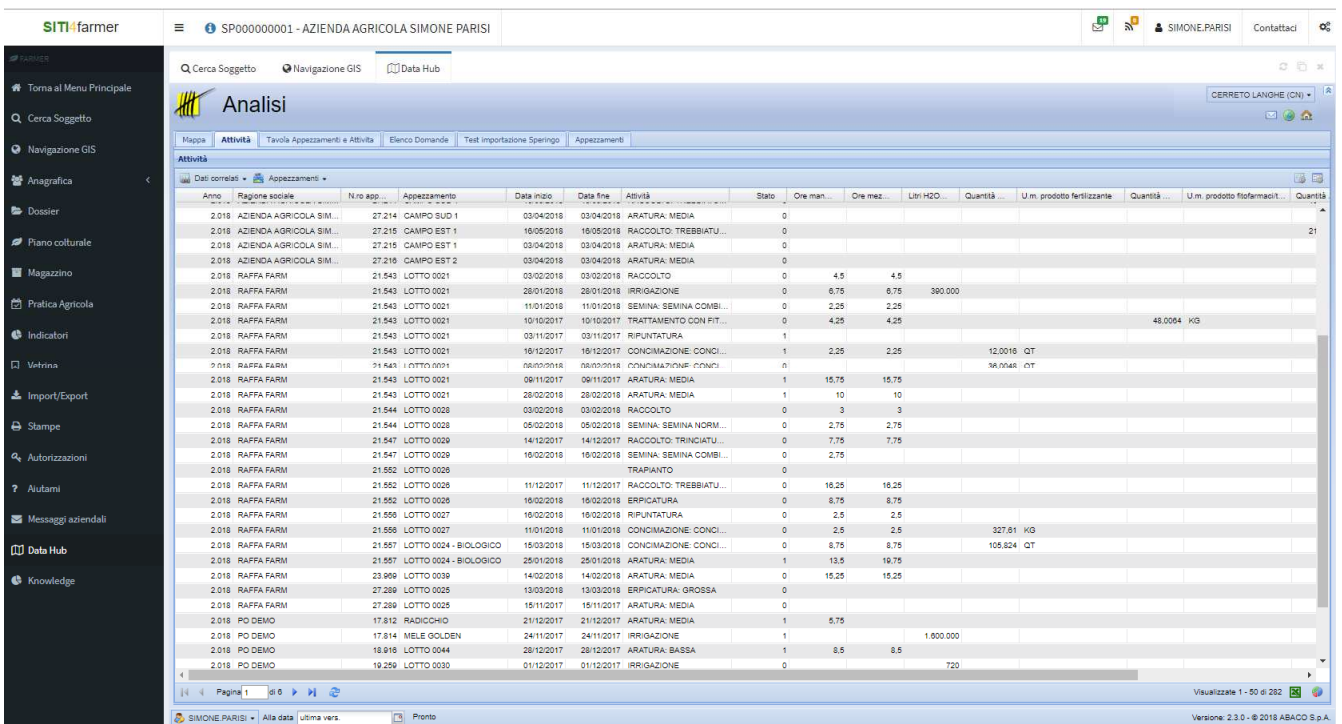


Fig.4 – SitiCloud. Screenshot aggregatore registro attività e metadata dei campi multiazienza  
 Fig. 4 - SitiCloud. Screenshot of the farms activities on all fields of the farms.

# AGROAMBIENTE.ABRUZZO: DECISION SUPPORT SYSTEM FOR IRRIGATION AND FERTILIZATION ACCORDING TO REGIONAL INTEGRATED PRODUCTION GUIDELINES

## AGROAMBIENTE.ABRUZZO: SUPPORTO ALLE DECISIONI PER L'IRRIGAZIONE E LA CONCIMAZIONE NEL RISPETTO DEI DISCIPLINARI DI PRODUZIONE INTEGRATA

Diego Guidotti<sup>1\*</sup>, Luciano Pollastri<sup>2</sup>, Angelo Mazzocchetti<sup>2</sup>, Fabio Pietrangeli<sup>2</sup>, Domenico Giuliani<sup>2</sup>, Fernando Antenucci<sup>2</sup>, Domenico D'Ascenzo<sup>2</sup>, Bruno Di Lena<sup>2</sup>

1 Aedit srl – Pontedera, Pisa

2 Regione Abruzzo - Regione Abruzzo- Servizi vivaistici e agrometeo - Cepagatti, Scerni

\*guidotti@aedit.it

### Abstract

In 2018, the information system AGROAMBIENTE.ABRUZZO, the web portal of Regione Abruzzo for agro-environmental monitoring, has been updated. The aim is to offer an improved support to the farmers in order to operate following the rules of regional production protocols. The portal is composed by several sections: agrometeorological data, decision support system for irrigation and fertilization, data collected from agrometeorological and plant health monitoring networks, reports including technical advices to respect regional agro-environmental measures.

By connecting to the portal, the following contents can be obtained: agrometeorological elaborations, based on data of regional networks and private farms, phenological models on the development of pest and disease, phytosanitary information, water balance of the most common crops in the region for irrigation purposes, calculation of standard dose for major nutrients.

The system enables a continuous exchange of information among farmers, agronomists and regional advisors.

### Parole chiave

Sistema di Supporto alle Decisioni, Monitoraggio agrometeorologico, Irrigazione, Concimazione

### Keywords

Decision Support System, agrometeorological monitoring network, irrigation, fertilization

### Introduzione

Il PSR 2014-2020 assegna alle tematiche inerenti la tutela ambientale e lo sviluppo di sistemi agricoli *climate-smart*, basati sull'uso sostenibile delle risorse (FAO, 2013), un ruolo strategico alla luce dei cambiamenti climatici in atto nel continente europeo.

In tale contesto, la raccolta e l'analisi delle variabili agrometeorologiche e la loro implementazione in modelli previsionali, nel campo della difesa integrata, dell'irrigazione e della nutrizione, diventano importanti per consentire l'adattamento dei sistemi agricoli ai cambiamenti climatici.

Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, sempre più diffuse anche in agricoltura, rappresentano un supporto potente alla gestione integrata delle risorse naturali, in quanto consentono la divulgazione e la fruizione di informazioni per la valutazione delle problematiche agro-ambientali e lo sviluppo di competenze professionali.

Negli ultimi anni, alcune amministrazioni regionali deputate allo sviluppo agricolo ed all'applicazione delle misure comunitarie hanno compiuto sforzi per diffondere strategie che integrino gestione sostenibile delle risorse in agricoltura, sistemi di supporto alle decisioni (DSS) e soluzioni *Internet of Things* applicate al settore agricolo. Particolare sviluppo hanno avuto i DSS finalizzati alla protezione delle colture, con lo scopo di controllare insetti,

malattie e infestanti a scala aziendale. Con le tecnologie DSS gli utilizzatori possono usufruire in "*real time*" di informazioni e supporti decisionali per la gestione delle colture. I dati sono raccolti da diverse fonti, processati tramite modelli DSS e integrati in pagine web personalizzate, per mostrare dati in forma grafica e tabulare, valutazioni tecniche e altri *link* informativi.

La Regione Abruzzo, a partire dal 2004, si è dotata, tramite l'agenzia ARSSA, di uno strumento per la gestione dei monitoraggi fitosanitari. Per un uso più efficace, nel 2017, il sito web ha richiesto un aggiornamento del sistema e l'implementazione di alcuni moduli aggiuntivi per la gestione delle risorse idriche e nutrizionali da parte delle aziende.

Per la realizzazione del servizio, la Regione Abruzzo si è avvalsa del supporto della società AEDIT di Pontedera, spin-off accademica della Scuola Superiore Sant'Anna. Nel presente lavoro si descrivono le attività di aggiornamento del sito e le nuove funzionalità sviluppate applicando quanto riportato nel disciplinare di produzione integrata (DPI) della Regione Abruzzo (Regione Abruzzo, 2018). Lo scopo è stato quello di mettere a disposizione degli agricoltori uno strumento per rispettare le misure agroambientali legate alla produzione integrata emanate dalla Regione Abruzzo.

## Materiali e Metodi

La piattaforma si basa su Drupal come Content Management System, ed ha una banca dati implementata in PostgreSQL con l'estensione spaziale Postgis per la gestione dei dati spaziali. L'interfaccia ai dati avviene tramite un set di API che espongono i contenuti della banca dati tramite dei web-service REST in formato JSON. In questo modo viene assicurata la possibilità di integrare i servizi della piattaforma anche con sistemi esterni ed eventuali app.

AgroAmbiente.Abruzzo è diviso in tre sezioni:

- Sezione Agrometeorologica;
- Sezione per le simulazioni delle esigenze idriche e nutrizionali (Irri-Nutri);
- Sezione per il Monitoraggio Fitosanitario.

Il sistema prevede una gestione centralizzata degli utenti del sito con la possibilità di assegnare diversi ruoli e gestire quindi l'accesso alle varie funzionalità.

L'accesso ai dati agro-meteorologici è aperto a tutti gli utenti; per usufruire invece del DSS "Irri-Nutri" per la valutazione dei fabbisogni idrici e nutrizionali occorre registrarsi al portale fornendo email e password. L'accesso al sistema del monitoraggio è per adesso ad invito interessando principalmente i tecnici regionali, le associazioni e le organizzazioni di produttori, le cooperative, gli agronomi e le aziende che fanno attività di monitoraggio sul territorio.

**Accesso ai dati meteorologici.** La rete di monitoraggio climatico del Centro Agrometeorologico Regionale di Scerni è costituita da 26 stazioni automatiche dislocate prevalentemente nella fascia collinare-litoranea e nelle aree interne della valle Peligna e del Fucino. Dal portale si accede alla mappa con la localizzazione delle stazioni da cui si visualizzano i dati tabellari degli ultimi 15 giorni e un grafico interattivo che permette la consultazione dei dati degli ultimi due anni, con la possibilità inoltre di selezionare un periodo di interesse ed interrogare i dati giornalieri.

Oltre alla visualizzazione è presente un sistema semplificato di elaborazione e generazione di reportistica agrometeorologica. Il sistema permette di generare una cartografia tematica ed una tabella esportabile riferita a una serie di indicatori agro-meteorologici:

- indicatori della temperatura: estremi e medie, giorni di gelo e giorni con temperatura sopra una soglia massima;
- indicatori della pioggia: cumulate di precipitazioni e giorni di pioggia (generica o sopra 10 mm);
- indicatori sui gradi giorno: calcolo dei gradi giorno con varie soglie (figura 1);
- indicatori sul fabbisogno idrico: sommatoria dell'evapotraspirazione giornaliera, bilancio idro-climatico (differenza tra piogge ed evapotraspirazione).

Per ogni indicatore è possibile definire il periodo di selezione dei dati, consentendo di effettuare analisi annuali (di *default* viene selezionato il periodo da gennaio dell'anno in corso) ma anche mensili o stagionali (scegliendo data di inizio e fine del calcolo).

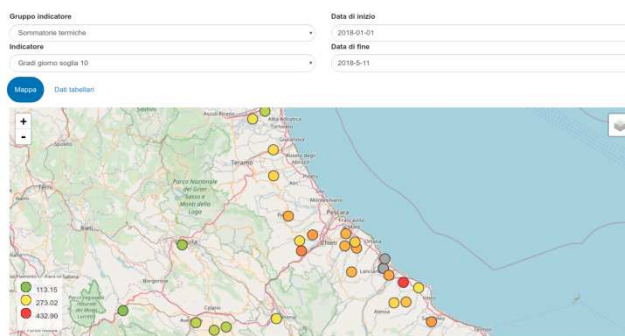


Fig.1 – Mappa con il calcolo dei gradi giorno con soglia 10 °C dall'inizio dell'anno, per ciascuna stazione della rete (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it/report>).

Fig.1 – Maps with of growing degree days (threshold 10 °C) starting from 1<sup>st</sup> January, for each station of the regional network (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it/report>).

**Irri-nutri.** E' stato realizzato un DSS (sezione Irri-Nutri) per aiutare le aziende nella stima dei fabbisogni idrici e nutrizionali nel rispetto dei disciplinari per le produzioni agricole della Regione Abruzzo ottenute con il metodo dell'agricoltura integrata.

IrriNutri ha le seguenti funzioni:

1. definizione del centro aziendale: si posiziona il centro sulla mappa, assegnando una stazione meteo della rete ed inserendo 1 o più analisi del suolo (figura 2);
2. gestione degli appezzamenti: per appezzamento si intende una unità produttiva omogenea con una coltura e una specifica estensione temporale, associata al centro aziendale. Per ogni appezzamento, oltre alla coltura, si definiscono la data di semina/trapianto/impianto, le analisi del suolo dopodiché possono essere attivate le funzioni di irrigazione e/o concimazione. Per attivare queste funzioni devono essere inserite informative aggiuntive (es. classe varietale, tipo impianto di irrigazione, classe di precocità). Si è cercato di limitare al massimo le informazioni necessarie, personalizzandole per ogni DSS e ogni coltura.
3. Risultato dei modelli:
  - bilancio idrico: il sistema calcola su base giornaliera il fabbisogno idrico stimando evapotraspirazione di riferimento, la fase fenologica della coltura, il relativo coefficiente culturale, la pioggia utile, l'approfondimento radicale, i livelli critici ed ottimale soglia dalla capacità di campo, il fabbisogno idrico del giorno; l'utente può inserire manualmente le irrigazioni effettuate o fare una simulazione delle irrigazioni consigliate dal sistema; inoltre è possibile inserire la profondità di falda e calcolare gli apporti di risalita capillare (figura 3);



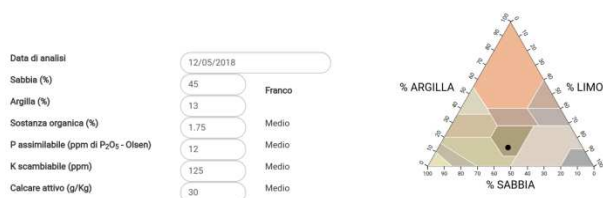


Fig.2 – Interfaccia per l’inserimento dei dati dell’analisi del suolo (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

Fig.2 – Interface for soil analysis data entry (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

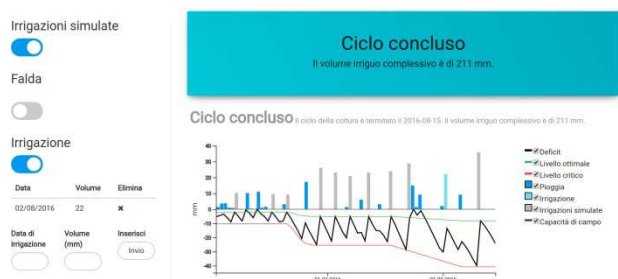


Fig.3 – Pagina di visualizzazione dell’output del modello di bilancio idrico (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

Fig.3 – On-line visualization of water balance model (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

- o calcolo della dose standard di concimazione: il sistema informativo calcola le dosi standard di azoto, fosforo e potassio richieste dalle colture seguendo le indicazioni del disciplinare di produzione integrata della Regione Abruzzo. Le dosi standard vanno intese come il quantitativo massimo di elementi nutritivi da distribuire. Inoltre è in fase di realizzazione il calcolo del bilancio nutrizionale completo integrando i dati climatici e facendo una stima puntuale delle esportazioni della coltura.



Fig.4 – Pagina di visualizzazione dell’output della dose standard di concimazione per azoto, fosforo e potassio (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

Fig.4 – On-line visualization of the output of the calculation of standard dose for nitrogen, phosphorus and potassium (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

Sia per l’irrigazione che per la concimazione sono disponibili delle funzioni che riassumono le richieste idriche e nutrizionali per ogni appezzamento in questo modo è possibile avere un quadro sintetico delle esigenze aziendali (figura 5).

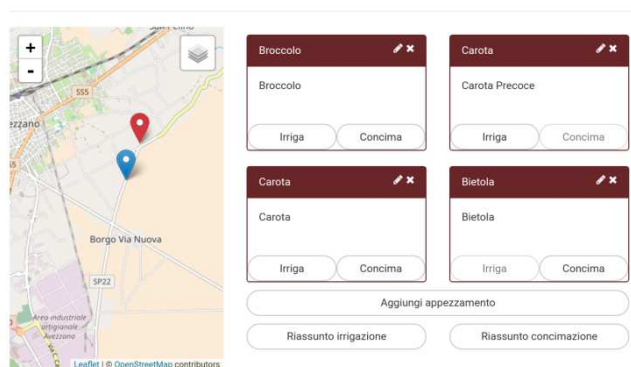


Fig.5 – Pagina per la gestione della situazione aziendale ove per ogni appezzamento si ottiene la visualizzazione del bilancio idrico (irriga) e del calcolo della dose standard di concimazione (concima) (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

Fig.5 – Interface for farm management where for each field it is possible the visualization of water balance model (irriga) and the calculation of standard dose of fertilization (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

**Monitoraggio.** È stato progettato un sistema informativo geografico che permette ai tecnici regionali di gestire le reti di monitoraggio fitosanitario. Il sistema permette ad un coordinatore di gestire le organizzazioni di monitoraggio ed i relativi tecnici. Ogni tecnico può creare una serie di punti di monitoraggio georeferenziati a cui saranno associati dei rilievi. Per ogni punto è possibile scegliere la coltura, la localizzazione geografica, e i dati di gestione agronomica. L’amministratore della rete di monitoraggio definisce per ogni coltura le schede di rilievo che riguarderanno il monitoraggio fenologico e il monitoraggio fitosanitario delle principali avversità. Ogni scheda è personalizzabile andando a definire i campi di rilievo, il formato dei dati e le codifiche delle risposte.

È stata progettata un’interfaccia semplificata di inserimento dati che permette, anche da dispositivo mobile, di inserire i dati del monitoraggio.

I dati inseriti saranno accessibili tramite un’interfaccia che permette la visualizzazione dei dati su mappa (figura 6) e la generazione di tabelle per punto, per settimana di rilievo e per singola variabile osservata. I dati elaborati possono essere filtrati per areale di monitoraggio, organizzazione, scheda di rilievo e settimana di monitoraggio.

### Risultati e Discussione

Il Sistema informativo è accessibile al seguente indirizzo: <https://agroambiente.regione.abruzzo.it/>.

**Co-design del sistema informativo.** Il sistema è stato sviluppato in stretta collaborazione con i responsabili regionali dei vari settori. Prima della pubblicazione definitiva *on-line*, le varie funzionalità sono state testate dai tecnici regionali per ottenere un loro feedback su come sviluppare ed adattare l’interfaccia utente in funzione delle diverse esigenze.

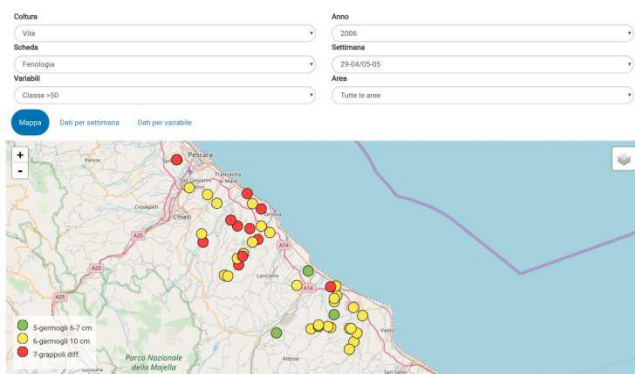


Fig.6 – Mappa per la visualizzazione del monitoraggio fenologico sulla vite sul territorio regionale. Il colore dei pallini indica lo stadio fenologico rilevato (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

Fig.6 – Maps with the visualization of grape phenological observations. The colour of the points indicates the phenological phase (<https://agroambiente.regione.abruzzo.it>).

Nei prossimi mesi sono anche previste delle attività di presentazione e formazione all'uso dello strumento.

**Integrazione della banca dati agrometeorologica.** Il portale vuole essere uno strumento di comunicazione con le aziende agricole e i soggetti che si occupano di agricoltura. La Regione Abruzzo ha stabilito quindi un sistema di interscambio dati con alcune aziende agricole e progetti posti sul territorio

Il sistema informativo chiama i servizi esterni tramite un web service oppure uno scambio di dati, i dati vengono acquisiti ed integrati nella banca dati geografica di AgroAmbiente.Abruzzo e possono quindi essere poi impiegati per i servizi di elaborazione.

**Personalizzazioni dei dati colturali.** Il sistema è stato dotato di una interfaccia di gestione dei parametri colturali che permette ai responsabili regionali di gestire in maniera autonoma i parametri colturali:

- aggiunta e modifica di colture;
- aggiunta e modifica di tipologie colturali: i parametri dell'irrigazione e della concimazione possono essere specifici per determinate tipologie colturali quali la classe varietale (es. le classi di precocità del mais), la destinazione (es. vite da tavola o vite da vino), la stagione produttiva (es. cavolo invernale, primaverile o estivo).
- definizione dei parametri colturali: elenco fasi fenologiche e definizione del periodo o del requisito in gradi giorno per stimare la fase fenologica, dati su profondità radicale;
- definizione dei parametri dell'irrigazione (es. kc per fase, limiti di acqua facilmente disponibile a cui intervenire etc.);

- definizione dei parametri necessari per il calcolo della dose standard.

Il sistema è così totalmente personalizzabile permettendo di essere aggiornato nel tempo in funzione di nuovi dati disponibili o eventuali variazioni del DPI.

Ad esempio nel corso dell'inizio del 2018 si è provveduto a definire dei parametri colturali specifici per l'orticoltura della Piana del Fucino grazie alla collaborazione con gli agronomi locali.

**Archivio storico del monitoraggio.** Sono state acquisite nel sistema le banche dati storiche dei rilievi effettuati in Regione nel periodo 2004-2011. Questa banca-dati è stata inoltre armonizzata nella nuova struttura dati ed inserita nella banca dati di AGROAMBIENTE.ABRUZZO. Per gli utenti autorizzati è quindi possibile accedere ai dati storici che possono essere utilizzati per effettuare confronti tra quanto osservato in campo e valori medi pluriennali.

## Conclusioni

La piattaforma AGROAMBIENTE.ABRUZZO è uno strumento di comunicazione e scambio dati tra la Regione e tutti i soggetti agricoli coinvolti: aziende, agronomi e tecnici, cooperative, associazioni di categoria e associazioni di produttori. Lo scambio dei dati meteo, i suggerimenti sulla calibrazione dei fabbisogni irrigui da esperienze di tecnici agronomi operanti sul territorio, la collaborazione tra ente pubblico e privati sul monitoraggio sono interessanti esempi di questo proficuo scambio.

La piattaforma è stata sviluppata con una metodologia partecipativa ed è aperta ai suggerimenti degli utenti per estendere e migliorare le funzionalità

Il sistema supporta le aziende agricole nel rispettare il DPI della Regione Abruzzo; inoltre è in via di sviluppo un sistema di generazione di schede riassuntive per irrigazione e nutrizione per facilitare la rendicontazione da parte delle aziende delle misure agro-ambientali.

Sono previste varie attività per il continuo aggiornamento del sistema:

- aggiornamento delle colture e delle tipologie colturali;
- verifica dei parametri per la stima del fabbisogno idrico delle colture;
- miglioramento del DSS per la nutrizione affiancando al calcolo della dose standard di un sistema di bilancio nutrizionale che impiega i dati climatici, del suolo e colturali per stimare le varie componenti del bilancio nutritivo (es. asportazioni, lisciviazioni, mineralizzazioni)

## Bibliografia

FAO (2013). Climate smart agriculture sourcebook. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

Regione Abruzzo (2018). Disciplina di produzione Integrata <https://www.regione.abruzzo.it/content/difesa-integrata>



# PROGETTO BRUMA: UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER LA DIFESA DAL BRUSONE DEL RISO IN PIEMONTE

## BRUMA PROJECT: A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR RICE PROTECTION FROM BLAST IN PIEDMONT

Marinella Rodolfi<sup>1\*</sup>, Massimo Biloni<sup>2</sup>, Simone Silvestri<sup>3</sup>, Federico Spanna<sup>4</sup>, Tiziana La Iacona<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Miconet Srl, spin off Accademico dell'Università degli Studi di Pavia – Via San Epifanio 14, 27100 Pavia

<sup>2</sup> Italian Rice Experiment Station (I.R.E.S.), Cascina Montarsello snc - 28070 Nibbiola (NO)

<sup>3</sup> Ente Nazionale Risi – Via San Vittore 40, 20123 Milano

<sup>4</sup> Regione Piemonte – Settore Fitosanitario e Servizi Tecnico-Scientifici, Via Livorno 60, 10144 Torino

\*marinella.rodolfi@unipv.it

### Abstract

The BRUMA project is an integrated decision-making system focused to the optimization of rice protection from blast in Piedmont. During the 2017 rice campaign, local technicians and farmers were supported by a provincial and regional forecasting information service, broadcasted through multimedia (sms, platforms and websites, online services) as real-time bulletin. In particular, 6 rice-growing areas were monitored, by means of meteorological stations, a continuous airborne monitoring, the utilization of a predictive eco-physiological model, and the planning of in vivo trials specifically set for the surveillance of the most representative both susceptible and resistant rice varieties.

### Parole chiave

DSS, modello eco-fisiologico, monitoraggio aeromicologico

### Keywords

DSS, Eco-physiological model, aeromycological monitoring

### Introduzione

Il fungo Ascomicete *Pyricularia oryzae* (Cooke) Sacc. è agente causale di varie forme sintomatologiche note come “brusone” del riso. Nonostante le varie strategie volte alla protezione della risaia dalla malattia e i numerosi studi della comunità scientifica internazionale finalizzati alla completa conoscenza della problematica, il brusone continua a rappresentare uno dei principali pericoli per questa coltura.

La malattia in Italia tende a manifestarsi con più elevata intensità su varietà di riso mediamente o altamente suscettibili in fase adulta, cresciute in condizioni pedologiche e/o con gestioni agronomiche predisponenti l'infezione, al verificarsi di condizioni meteorologiche favorevoli. Anche nell'area risicola vercellese e novarese, caratterizzata da pronunciati contrasti climatici e da una peculiare ricchezza in tipologie ambientali, si possono quindi verificare differenti situazioni di rischio epidemiologico, difficilmente controllabili in mancanza di una ben strutturata rete di sorveglianza aerea dei propaguli infettivi del fungo patogeno.

In tale contesto, durante la campagna risicola 2017, è stato avviato il progetto BRUMA, basato sul monitoraggio aeromicologico di *P. oryzae* nell'areale risicolo piemontese, polo di eccellenza della produzione risicola nazionale. Il metodo è stato già da anni validato al fine di ottenere strumenti per la previsione dello sviluppo del patogeno e dei corrispondenti processi infettivi (Picco & Rodolfi, 2002; Rodolfi et al., 2014). Inoltre, rilievi continui dei principali dati meteorologici sono stati inseriti ed elaborati nel modello matematico epidemiologico previsionale SiRBInt

(Biloni et al., 2006). Dall'anno della sua pubblicazione, il modello è stato anno dopo anno calibrato e validato sulla base dei vari episodi epidemiologici che hanno caratterizzato le singole campagne risicole. Negli ultimi 8 anni SiRBInt è già stato utilizzato, congiuntamente al monitoraggio aeromicologico, con finalità previsionali e di allerta epidemiologica. Infine, questi due approcci metodologici, per garantirne la massima efficacia, sono stati affiancati a costanti controlli fitosanitari in campo e soprattutto in campi spia, appositamente allestiti e geograficamente ben collocati nell'areale oggetto di studio eseguiti da tecnici con esperienza decennale sulla patologia.

Le varie indicazioni ottenute sono state tradotte in strumenti di divulgazione riguardanti sia l'effettiva pressione infettiva del patogeno cui è sottoposta la risaia che le giornate caratterizzate da condizioni ambientali realmente favorevoli per l'infezione della coltura. Questi risultati sono stati messi a disposizione degli utenti attraverso la trasmissione di un bollettino di segnalazione del rischio di brusone in Piemonte, differenziato per 6 aree di sorveglianza equamente ripartite fra le Province di Novara e di Vercelli.

### Materiali e Metodi

Il Progetto si è basato sull'effettuazione di:

1. un monitoraggio aeromicologico, volto a quantificare giornalmente le spore infettive aerodisperse;
2. un monitoraggio agrometeorologico attraverso l'impiego dei dati rilevati da 6 stazioni di rilevamento

affendenti alle Rete Agrometeorologica della Regione Piemonte

3. una rigorosa sorveglianza fitopatologica, sia nelle coltivazioni del territorio che in campi spia appositamente allestiti.

4. un modello eco-fisiologico previsionale (SiRBInt, Simulation of Rice Blast Interaction) necessario per segnalare i momenti caratterizzati dalle condizioni meteorologiche più predisponenti la malattia; tale modello necessita di dati meteorologici riferiti a temperatura ed umidità dell'aria, e bagnatura fogliare (fig. 1). Quest'ultima variabile rappresenta il fattore decisivo per la diffusione di *P. oryzae* in quanto l'intero processo di formazione dei conidiofori, rilascio delle spore, loro dispersione, deposizione, germinazione, formazione dell'appressorio e penetrazione nell'epidermide può essere completato solo durante un periodo ininterrotto di bagnatura fogliare. Se tale situazione cessa prima della penetrazione allora la spora può collassare. Altri fattori meteorologici influiscono sullo sviluppo del brusone anche se con effetti meno evidenti. Tra di essi vi sono la radiazione solare, che riduce la vitalità dei conidi, il vento e la pioggia, che influiscono sulla loro dispersione. Il modello simula la durata del periodo di latenza, la durata del periodo di infezione, la produzione di spore il rilascio delle spore e la dispersione delle spore. La percentuale delle spore che si deposita sulla copertura vegetale dipende dal LAI (Leaf Area Index), dalla posizione, inclinazione e pubescenza delle foglie.

condizioni pedo-climatiche differenti e includono note tenute risicole, garanzia di produzioni di alto pregio qualitativo.

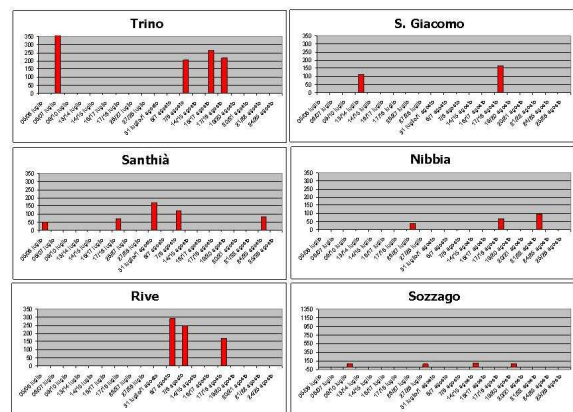


Fig. 2 - Esempi di variabilità della massima aerodispersione di spore infettive di *Pyricularia oryzae* registrate nel corso di una medesima campagna risicola (2011).

Fig. 2 - Examples of the variability of the maximum aerodispersion of infectious spores of *Pyricularia oryzae* recorded during the same year (2011).

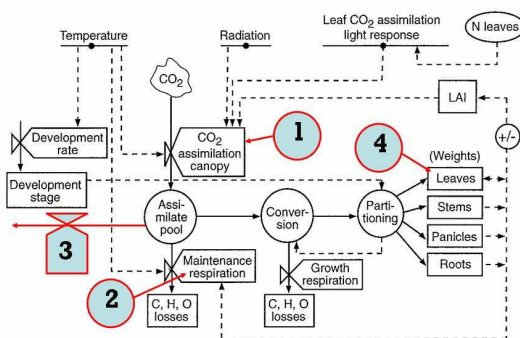


Fig. 1 - Le 4 interferenze fisiologiche causate dal fungo patogeno *Pyricularia oryzae* sulla crescita della pianta di riso, considerate dal modello SiRBInt.

Fig. 1 - The 4 Physiological interferences considered by the SiRBInt model, caused by the pathogenic fungus *Pyricularia oryzae* on the growth of the rice plant.

Queste azioni sono state effettuate dai primi giorni di giugno fino alla terza settimana di agosto, presso 6 aree risicole appositamente selezionate in modo da garantire la completa copertura del territorio risicolo delle province di Vercelli e Novara: Terdobiate (NO); Nibbia (NO); Cameriano (NO); Olcenengo (VC); Trino Vercellese (VC); San Giacomo Vercellese (VC). Queste aree del territorio includono

## Risultati e Discussione

Dal 19 giugno al 17 agosto 2017, nelle ore centrali delle giornate di lunedì e giovedì è stata effettuata una valutazione critica dei 3 risultati provenienti dalle 3 azioni sopra descritte. Il dato biologico proveniente dai captaspore, l'output del livello di rischio prodotto dal modello previsionale e le misurazioni di campo sono stati raccolti, confrontati, inquadrati nel contesto fenologico temporale e tradotti in un unico risultato numerico, emesso in scala da 0 a 3 sotto forma di bollettino.

Ciascun bollettino è sempre stato emesso entro le 15 del giorno predefinito, con modalità comprendenti sia una facile reperibilità da ben segnalate piattaforme web che una diretta trasmissione agli utenti territoriali mediante via sms e mail.

In termini operativi, nelle ore centrali di ogni lunedì e giovedì del periodo di monitoraggio, si è proceduto a stilare e rendere immediatamente visibile il bollettino sulla piattaforma del Servizio Fitosanitario della Regione Piemonte (<http://www.3acloud.it:8000/pan/>). Una rapida pubblicazione è poi avvenuta anche sui siti Internet di: Ente Nazionale Risi, Provincia di Vercelli, Provincia di Novara, FAN – Fondazione Agraria Novarese, Associazioni di categoria. Contemporaneamente è stata attivata la diffusione capillare del messaggio a tutti i risicoltori piemontesi mediante sms (gestione di ENR – Ente Nazionale Risi) e mail (gestione di FAN). Servizi on-line a supporto dei risicoltori e testate giornalistiche sia divulgative che specifiche del settore hanno contribuito a diffondere le segnalazioni nei periodi maggiormente critici della coltura.

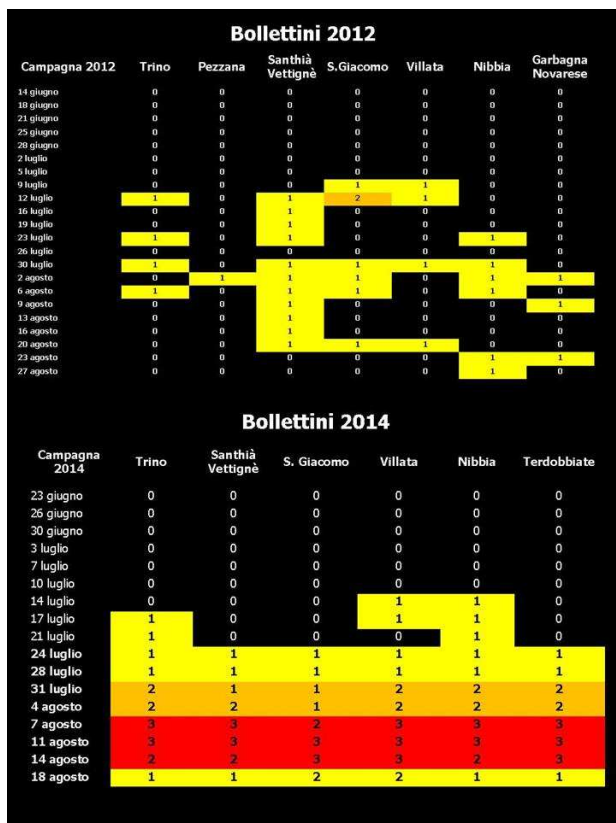


Fig. 3 - Confronto tra i bollettini di rischio da brusone emessi in due differenti campagne risicole (2012-2014).

Fig. 3 - Risk comparison between two bulletins issued in two different years (2012-2014)

### Conclusioni

I risultati ottenuti hanno permesso di confermare il raggiungimento dell'obiettivo principale del progetto. Infatti, all'utenza agricola piemontese è stato gratuitamente fornito un nuovo sistema integrato di supporto alle decisioni, finalizzato all'ottimizzazione delle scelte gestionali per la protezione del riso dal brusone.

La speciale attenzione dedicata ai due momenti di maggior pericolo per la coltura (fine giugno-inizio luglio per l'infezione fogliare e prima metà di agosto per l'attacco al collo) ha consentito la segnalazione di un livello di rischio rispettivamente basso e medio-basso. Il rispetto di tali indicazioni avrebbe dovuto comportare l'effettuazione di un intervento chimico preventivo con funzione protettiva esclusivamente sulle varietà più suscettibili o su quelle mediamente suscettibili coltivate in presenza di qualche fattore predisponente l'infezione (es. abbondanti concimazioni azotate, stress della coltura).

L'azione corale di costante coordinamento operativo e di traduzione dei diversi risultati in un unico e chiaro messaggio informativo si è sempre svolta nel rispetto delle tempistiche previste e delle esigenze degli utenti finali. Altrettanto positiva è stata la divulgazione dei 17 bollettini differenziati per le 6 aree, sia puntualmente resi fruibili dai

siti web che direttamente trasmessi via sms e mail a tecnici e risicoltori.

L'aspetto relativo alla divulgazione del livello di rischio calcolato è pilastro portante del progetto. Seppur il bollettino sia già ben percepito dagli utenti, la sua divulgazione sarà in futuro oggetto di ulteriore perfezionamento ai fini di una totale chiarezza e comprensione. Altrettanti sforzi saranno dedicati alla adeguata sensibilizzazione e preparazione dei risicoltori più interessati, effettuata durante i mesi invernali.

Come ultimi commenti ai risultati, si sottolineano due aspetti:

1. nonostante il territorio risicolo monitorato sia afferente ad un'unica regione geografica, l'aerodispersione del fungo patogeno anno dopo anno si conferma altamente variabile, localizzata e pertanto difficilmente prevedibile (si vedano esempi di passate stagioni vegetative schematizzati in figg. 2-3); la continua raccolta di dati biologici è azione necessaria per garantire una corretta segnalazione di rischio malattia;

2. i campi spia possono permettere, anche dopo il periodo di rischio brusone, uno studio particolareggiato sull'intensità della malattia in condizione di assenza di controllo umano (al momento della stesura del presente testo i lavori di raccolta dati sono ancora in atto); a campagna risicola completamente conclusa essi consentiranno sia una precisa valutazione dell'aggressività del patogeno che l'analisi di dati produttivi correlabili alla campagna 2017, preziose basi per sempre nuovi perfezionamenti sperimentali del progetto.

### Bibliografia

- Biloni M., Rodolfi M., Picco A.M., 2006. SiRBInt, a new simulation model to forecast rice blast disease. *Italian Journal of Agrometeorology* 3, 58-62.
- Picco A.M., Rodolfi M., 2002. *Pyricularia grisea* and *Bipolaris oryzae*: a preliminary study on the occurrence of airborne spores in a rice field. *Aerobiologia* 18, 163-167.
- Rodolfi M., Tosi S., Chinaglia S., Picco A.M., 2014. Focus on the rice blast pathogen *Magnaporthe grisea*: multidisciplinary studies for a deep comprehension of its behaviour in Italy. 4th International Rice Congress-IRC, Bangkok, Thailand.

### Ringraziamenti

Il progetto è promosso e finanziato dalla Regione Piemonte nell'ambito del Programma di ricerca, sperimentazione e dimostrazione, per il comparto "Territorio e ambiente". In qualità di fondamentale partner del progetto si ringrazia la Fondazione Agraria Novarese FAN. Per il supporto e la collaborazione si ringraziano le Province di Vercelli e di Novara e l'azienda Vecco. Un ringraziamento all'Università di Pavia, sez. di Micologia, per aver fornito evidenze scientifiche di base per l'attuazione del monitoraggio aeromicologico sin dai primi anni del progetto, ed alla Fondazione Banca Popolare di Novara che ha garantito un contributo all'iniziativa.

# METEOROLOGICAL PARAMETERS MEASUREMENTS IN PROTECTED CULTIVATION AS INFLUENCE OF TOMATO VARIABILITY

## MISURE DEI PARAMETRI METEOROLOGICI IN COLTURA PROTETTA INFLUENTI SULLA VARIABILITÀ DI POMODORO

Francesca Sanna<sup>1,3\*</sup>, Roberto Deboli<sup>1</sup>, Angela Calvo<sup>2</sup>, Andrea Merlone<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Istituto Macchine Agricole e Movimento Terra - Consiglio Nazionale Ricerche (IMAMOTER-CNR), Turin, Italy

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DiSAFA) Università degli Studi di Torino, Turin, Italy

<sup>3</sup> Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM), Turin, Italy

\*[f.sanna@ima.to.cnr.it](mailto:f.sanna@ima.to.cnr.it)

### Abstract

The amount of solar radiation, when operating in protected environment, undergo to modifications that depend on the type of cover used. This can affect the characteristics of plant growth and trigger a variety of physiological responses. Currently, measurements of meteorological parameters in protected cultivation lack of measurement uncertainties evaluation that could be translated in uncertainty of the product variability.

An experimental site for these measurements and the evaluation of the variability of a table tomato cultivar is presented. The site was equipped with cultivation structures (tunnel type) and calibrated sensors traceable to SI. The microclimate conditions were monitored by sensors for solar radiation, air temperature and relative humidity; inside and outside the tunnel with different covering materials having opposite filtering properties with respect to UV-B radiation. High temperatures recorded (over 40 °C) changed the transmissive feature of the films and consequently affected the growth, anthesis, leaf area index and fruit setting of tomatoes.

### Keywords

Meteorological parameters, protected cultivation, calibration, uncertainty, tomato

### Parole chiave

Parametri meteorologici, coltivazione protetta, taratura, incertezza, pomodoro

### Introduction

Light is a factor of paramount importance for plants since, in addition to providing the radiant energy for photosynthesis, it modulates growth and development in response to the environmental conditions. When operating in protected cultivation the amount and the spectral distribution of solar radiation (SR) inside the cultivation undergo modifications that depend on the type of the cover used. The productivity of a protected crop is highly correlated to the amount of electromagnetic radiation received (Krizek, 2004). On the other hand, instruments that measure SR need constant maintenance and calibration, to obtain UV measurements of required quality (Hülßen and Gröbner, 2007). Schaeppman (1998) shown that the introduction of the measurement uncertainty for ground based spectroradiometric measurements increases significantly the reliability of measured data.

On the basis of the experience acquired in metrology for agrometeorology (Sanna *et al.*, 2014; 2018), an experimental site equipped with cultivation structures and calibrated sensors for the measurements of meteorological parameters was assembled.

### Materials and Methods

The research activities concerned the quality of table tomatoes (*Lycopersicon esculentum*, var. Saint Pierre) grown in protected environment. The following aspects were evaluated:

- Microclimate conditions: air temperature (T) range (-10 – 40) °C, relative humidity (RH) range (10 – 98) %rh with a

target uncertainties of 0.3 °C and 5 %rh, respectively; SR in the spectral distribution from 290 nm to 2800 nm;

- Morphological observations of the crops in response to the type of plastic film adopted.
- Monitoring of the ageing and radiometric properties of the films used as covering material due to their exposure to the sun and their deterioration.

The following structure and instruments were installed:

- No. 2 adjacent high-tunnels (called IN-C and IN-B) of equal size with different covering material. The first was a diffusive type and filtering the UV-B radiation, the second one of transmissive type.
- No. 2 Automatic Weather Stations (AWS), one per tunnel, including sensors for the detection of: air T and RH, SR for UV-B, and PAR;
- No. 1 AWS outside the tunnels (called OUT), including sensors for the detection of: air T and RH, SR for UV-B, global radiation.

The meteorological instrumentations were calibrated by means of procedures defined *ad hoc*. The air T and RH sensors were calibrated using the “EDIE – Earth Dynamics Investigation Experiment” facility, developed under the European ENV07 MeteoMet project (Merlone *et al.*, 2015).

### Results and Discussion

The meteorological sensors for the measurement of microclimate conditions were recalibrated and evaluated for the dynamic and stability. In order to cover the whole calibration range for atmospheric measurements, the



selected set points were:  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  for T sensors; 30 %rh, 60 %rh, 75 %rh, 90 %rh and a second point at 60 %rh for the evaluation of the hysteresis for RH sensors. The values of their calibration uncertainty were  $0.390\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $0.386\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $0.391\text{ }^{\circ}\text{C}$  for T and 3.988 %; 4.405 % and 4.398 % for RH for sensors A/IN-C, B/IN-B, C/OUT respectively.

During the three weeks after transplanting, the tomatoes plants in IN-B had a mean growth higher than the plants grown in IN-A, then to have a trend reversal. Plants grown in OUT had a lower growth than IN-A and IN-B. In percentage, anthesis in IN-B proceeded slowly compared to IN-C and OUT, but with a constant increasing rate, while for IN-C there was a gradual and progressive increase during the first two weeks. The fruit setting was observed primary in OUT rather than IN-B. The trend of IN-B followed the one in IN-C. The trend of IN-C was more uniform but, in percentage, lower than the other two plots. A higher mean LAI for plants grown in IN-B compared to IN-C was observed, with a turnaround on 20 June. The mean LAI of plants cultivated in OUT seemed to follow the trend of the plants in IN-B.

Data obtained from thermo-hygrometers sensors (IN-B, IN-C and OUT), calibrated and non-calibrated, were compared. In general, the air T values gathered from data in which the calibration curve were applied were higher than the ones gathered from the same data without application of the calibration curve. vice versa for RH values..

Statistical analysis were carried out regarding the parameters recorded in IN-C. General Linear Model was used to compare the growth, the anthesis, the fruit setting and the LAI values in combination with UV-B values respect to RH and T values.

Tab 1. - General Linear Model including Standard Error (SE) and coefficient of determination ( $R^2$ ), for morphological parameters compared to RH and T values calibrated and UV-B in IN-C.

Tab 1. - Modello Generale Linearizzato comprendente analisi dell'Errore Standard (SE) e il coefficiente di determinazione ( $R^2$ ) per i parametri morfologici comparati con i valori di RH e T tarati e gli UV-B in IN-C.

p-values: '\*\*\*' = 0.001; '\*\*' = 0.01; '\*' = 0.05.

GLM	SE	$R^2$	p-value
<b>Growth + UVB_INC ~</b>			
RH IN-C Cal	11.94	0.839	0.003 **
T IN-C Cal	2.867	0.9872	6.2e-06 ***
<b>Anthesis + UVB_INC ~</b>			
RH IN-C Cal	NA	0.9895	< 2.2e-16 ***
T IN-C Cal	NA	0.9217	1.186e-13 ***
<b>Fruit set + UVB_INC ~</b>			
RH IN-C Cal	93.551	0.2141	0.040 *
T IN-C Cal	223.96	0.1957	0.0573
<b>LAI + UVB_INC ~</b>			
RH IN-C Cal	0.2536	0.4871	0.017 *
T IN-C Cal	0.2027	0.7974	0.0002 ***

The analysis included Standard Error (SE) and coefficient of determination ( $R^2$ ). As listed in table 1, all the results were statistically significant ( $p$ -values < 0.001) except for fruits set compared to T values.

The thermo-optic coefficient for polymers is temperature and humidity-dependent and, as the temperature changes, the refractive index of polymeric films changes. A temperature comparison was performed in order to evaluate potential damages of the covering material. For all the studied period, the UV-B values recorded in IN-B were  $0\text{ W/m}^2$ . In IN-C, the values recorded were in the range from  $0\text{ W/m}^2$  to  $7.08\text{ W/m}^2$  until the 10th of July, then, with a reversal trend, reached  $0\text{ W/m}^2$  after few weeks (figure 1).

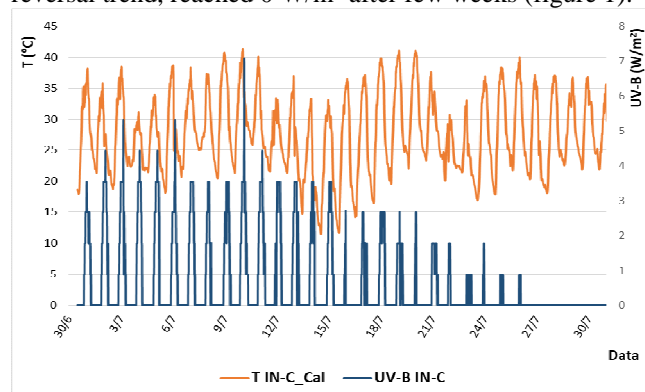


Fig.1 - Temperature (calibrated values) and UV-B measurement comparison in IN-C; daily values..

Fig.1 - Comparazione dei valori giornalieri tarati della temperatura dell'aria e gli UV-B misurati in IN-C.

## Conclusions

The absence of UV-B SR (IN-B) affected growth and LAI but, at the same time, the presence of UV-B SR affected T and RH inside the tunnel. The high temperature recorded in the last ten-days of June and in first ten-days of July, over than  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , changed the transmissive feature of the covering material installed in IN-C. Consequently, the phenological characteristics of tomatoes changed their growth, anthesis, LAI and fruit setting trends.

## References

- Krizek D.T., 2004. Influence of PAR and UV-A in determining plant sensitivity and responses to UV-B radiation. Photochemistry and Photobio. 81: 1026–1037
- Merlone A., Lopardo G., Sanna F., *et al.* (2015): The MeteoMet project – Metrology for Meteorology: challenges and results. Met. App. 22 (S1): 820-829.
- Hülsem G., Gröbner J., 2007. Characterization and calibration of ultraviolet broadband radiometers measuring erythemally weighted irradiance. App. Opt. 46(23): 5877-5886
- Sanna F., Cossu Q.A., Bellagarda S., Roggero G., Merlone A. 2014. Evaluation of EPI forecasting model with inclusion of uncertainty in input value and traceable calibration. Italian Journal of Agrometeorology, 3: 33-42
- Sanna F., Calvo A., Deboli R., Merlone A. 2018: Vineyard diseases detection: a case study on the influence



of weather instruments calibration and positioning.  
Meteorological Applications, 25(2): 228-235

# HYDRAULIC HEAD, PROXY DATA OF CLIMATIC SHIFTS IN ABRUZZO REGION: 1951-2009 PERIOD

## LA PIEZOMETRIA COME PROXY DATA DEGLI SHIFT CLIMATOLOGICI NELLA REGIONE ABRUZZO: PERIODO 1951-2009

Alessandro Chiaudani<sup>1\*</sup>, Bruno Di Lena<sup>2</sup>, Luigi Mariani<sup>3</sup>, Sergio Rusi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria e Geologia "InGeo", Università degli Studi "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara

<sup>2</sup> Regione Abruzzo - Direzione Agricoltura- Centro Agrometeorologico Regionale - Scerni (CH)

<sup>3</sup> Museo Lombardo di Storia dell'Agricoltura, Società Agraria di Lombardia e Unimi-Disaa

\*[achiaudani@unich.it](mailto:achiaudani@unich.it)

### Abstract

Climate variability depends from the joint action of gradual and abrupt changes. The first are the consequence of progressive changes due to forcing, while the second are the result of sudden sharp changes in the frequency and persistence of different circulation patterns. These transitions are trackable in the monitored meteorological variables. The climatic shift of the end of the 80s, initially detected at medium latitudes, has now been identified also at global planetary level in proxy data series belonging to bio-physical systems ranging from the high atmosphere to the deep see. In Abruzzo region the presence of this climatic shift has been verified in 59 years (1951-2009) in both in precipitation and piezometry hydrogeological proxy data set. The flat-step statistics detecting significant breakpoints, was realized with the Bai and Perron test of the Strucchange library.

### Parole chiave:

Cambiamento climatico, Regione Abruzzo, Breakpoint, Precipitazioni, Piezometria.

### Keywords:

Climatic change, Abruzzo Region, Breakpoint, Rainfall, Piezometry.

### Introduzione

A livello euro-atlantico uno dei fenomeni climatici del XX secolo con maggiori ripercussioni a livello ecosistemico è costituito dallo shift climatico degli anni '80 (di qui in avanti shift80), il cui effetto più evidente in Europa è dato dall'aumento di circa 1°C delle temperature medie annue a scala continentale con ripercussioni rilevanti riscontrabili ad esempio sulla fenologia vegetale ed animale e sulle coperture glaciali montane. Tale Shift80 si qualifica come un cambiamento climatico brusco innescato dall'improvvisa intensificazione delle westerlies, venti occidentali prevalenti che caratterizzano la circolazione alle medie latitudini della Cella di Ferrel, una delle tre macrocelle della circolazione generale dell'atmosfera (Mariani, 2001). Tale intensificazione verificatasi nel 1987, viene evidenziata dai valori positivi assunti dall'indice NAOI. La nuova fase climatica è stata poi stabilizzata dall'incremento delle temperature dell'oceano Atlantico avvenuto nel 1994 e indicato dal passaggio da negativo a positivo dell'indice AMO. E' interessante a questo punto osservare che lo shift80 ha rilevanza globale in quanto è stato individuato anche in serie storiche di proxy data appartenenti a sistemi che vanno dall'alta atmosfera alle profondità marine, dall'Artide all'Antartide (Reid et. al 2016). Anche nella regione Abruzzo è stato individuato tale shift in serie storiche pluviometriche relative a 59 anni e che coprono il periodo 1951-2009 (Di Lena et al, 2011). Nel presente lavoro si è cercato di capire se lo shift80 ha avuto qualche tipo di effetto sui livelli piezometrici in Abruzzo e se le relative serie storiche possono essere utilizzate come indicatori climatici. Il

metodo di analisi statistica utilizzato per indagare il fenomeno è la tecnica flat step (Seidel e Lanzante 2003) applicata utilizzando il test statistico di Bai e Perron (2003) della libreria Strucchange in ambiente R.

### Materiali e Metodi

I dati pluviometrici fanno riferimento alla pubblicazione regionale a cura di Di Lena et al. (2011) dal titolo "Analisi spazio temporale delle precipitazioni nella Regione Abruzzo", nella quale sui dati relativi a 75 pluviometri nel periodo 1951-2009 sono state effettuate l'analisi dei trend con il metodo Mann-Kendall e l'analisi di discontinuità di Bai e Perron (Fig.1).

Inoltre rappresentazioni spaziali della distribuzione delle precipitazioni a scala temporale annuale, mensile e stagionale sono state elaborate con la tecnica del Kriging ordinario, mettendo così in evidenza l'influenza orografica sulla distribuzione territoriale della piovosità. Tali dati afferiscono alla rete di monitoraggio dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Abruzzo ora Servizio Emergenze di Protezione Civile-Ufficio Idrografico e Mareografico di Pescara; allo stesso Ente afferisce la rete piezometrica alla quale appartengono 9 pozzi, situati nella fascia periadriatica costiera e che dispongono di serie storiche complete per il periodo considerato 1951-2009 (Fig.2). Il monitoraggio dei loro livelli/carichi idraulici è affidata a "osservatori volontari", generalmente i proprietari, che li utilizzano occasionalmente per fini irrigui, e che conferiscono periodicamente il dato misurato all'Ente di riferimento. A

questi dati è stata applicata l'analisi di discontinuità sui dati stagionali invernali (GFM), mensili e annuali.

Tab.1 – Pozzi considerati ed il Bacino di appartenenza  
Tab.1 – Considered wells and belonging Basin

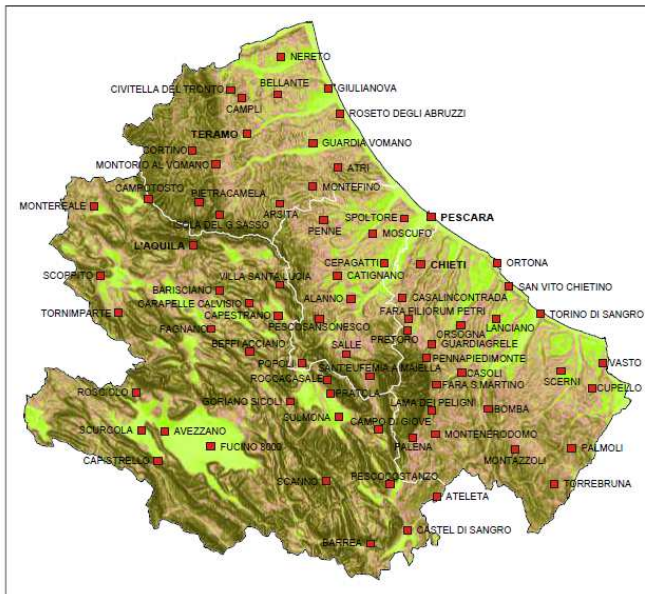


Fig.1- Localizzazione delle 75 stazioni pluviometriche  
Fig.1- Location of the 75 rain-gauges  
(Di Lena et al. 2011)

Piezometro	Bacino di Appartenenza
Gaspari	Acquif. costiero
Matricardi	Aleto
De Nicola	Pescara
Sanita'	Pescara
Caccianini	Acquif. costiero
Del Ciotto	Foro
Di Giuseppe	Sangro
Ruscitti	Tordino
Savini	Vomano

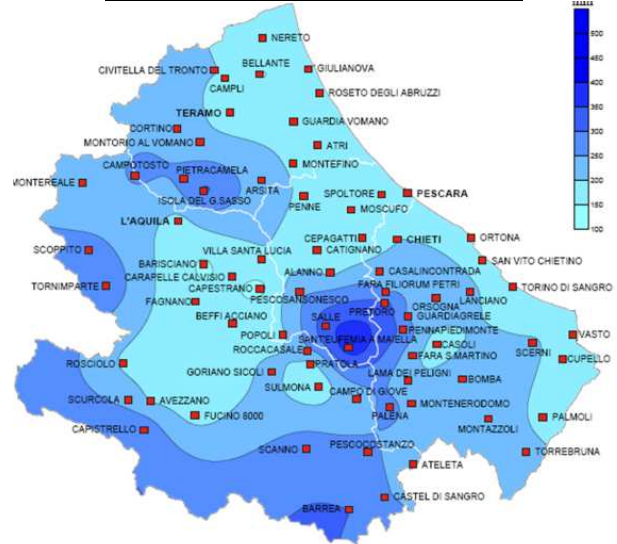


Fig.3 – Precipitazioni medie invernali 1951-2009 (GFM)  
Fig.3 – Average winter seasonal precipitation (JFM)  
(Di Lena et al. 2011)

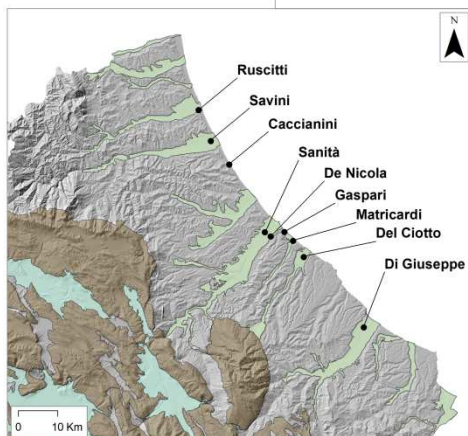
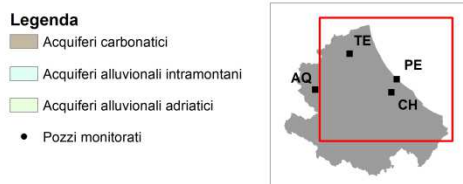


Fig.2- Localizzazione dei 9 piezometri  
Fig.2- Location of the 9 wells

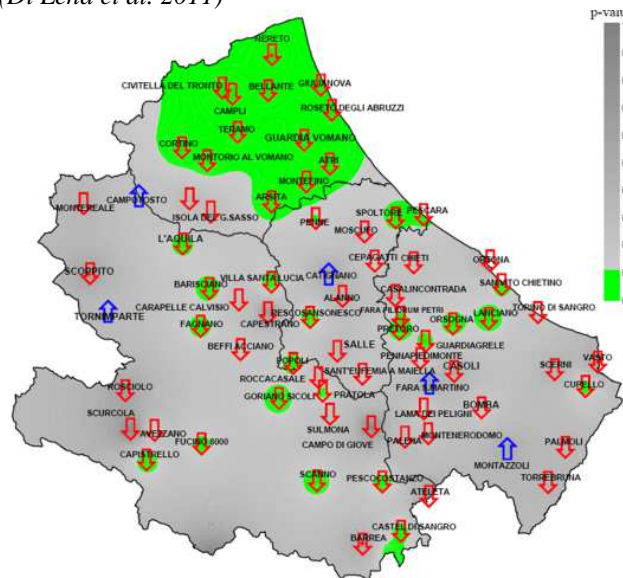


Fig.4 – Trend delle precipitazioni stagionali invernali (GFM)  
Fig.4 - Trend of winter seasonal precipitation (JFM)  
(Di Lena et al. 2011)

## Risultati e Discussione

L'analisi dei trend ha messo in evidenza come, per il periodo 1951-2009, le pluviometrie relative alla stagione invernale (GFM) (Fig.3) risultino essere le uniche significativamente in diminuzione; tale andamento si concentra soprattutto territorio teramano, lungo la dorsale appenninica occidentale e nella parte sud-occidentale della regione (Fig.4).

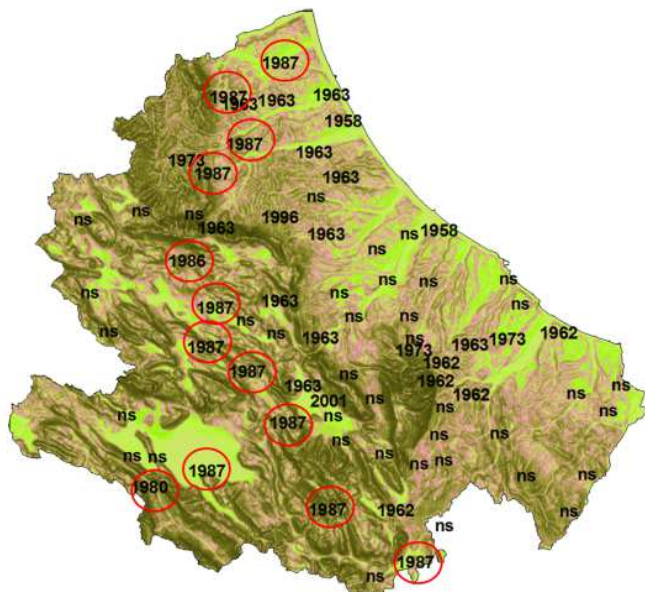


Fig.5 – Break point pluviometrici  
Fig.5 - Rainfall break-points

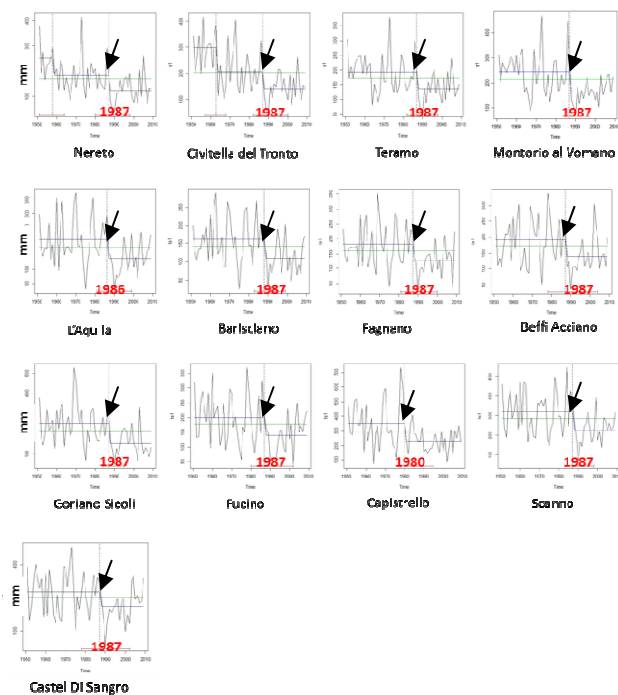


Fig.6 – Break-point pluviometrici invernali (GFM)  
Fig.6 – Winter rainfall break-point (JFM)

L'analisi di discontinuità sulle serie storiche pluviometriche invernali ha messo in evidenza come i break-point

pluviometrici negativi statisticamente più significativi si distribuiscono lungo la dorsale appenninica sia nel teramano sia nella parte sud-occidentale dell'aquilano (Fig.5).

Tali dati storici presentano generalmente un solo shift in diminuzione nel 1987 o vicino ad esso come nel caso dei pluviometri di L'Aquila (1986) e di Capistrello (1980). L'ampiezza del periodo entro il quale cade l'anno di shift, alla confidenza statistica del 90%, è mediamente di circa 18 anni (Fig.6).

L'analisi di discontinuità effettuata anch'essa sui dati piezometrici stagionali invernali (GFM) individua uno shift negativo intorno al 1987 su 6 delle nove serie storiche considerate (Fig.7). Si evidenzia però una minore significatività (conf < 90%) in tre pozzi che presentano l'ampiezza dell'intervallo inclusivo lo shift molto ampio, come nel caso di Gaspari (30 anni).

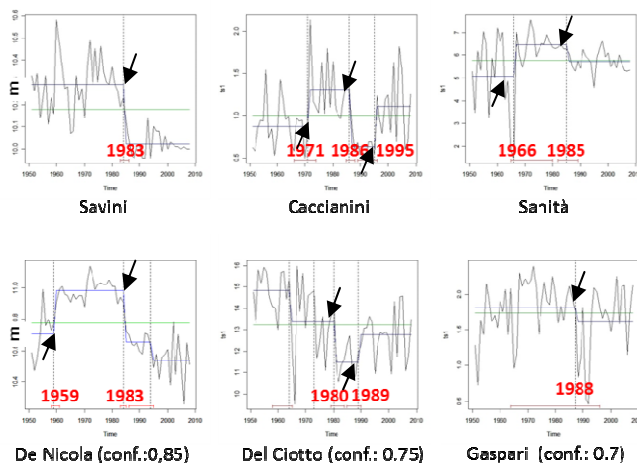


Fig.7 – Break-point piezometrico invernale  
Fig.7 – Winter hydraulic head break-point

Sapendo che il carico idraulico è ampiamente influenzato dalle condizioni idrogeologiche locali quali soggiacenza, permeabilità, antropizzazione, (Chiaudani et al. 2015), si è voluto ampliare l'analisi di discontinuità ai livelli mensile e annuale includendo tutta l'informazione di derivazione idrogeologica presente nel sottosuolo e in grado di alimentare e modulare il livello dei pozzi. L'analisi di discontinuità effettuata sui dati piezometrici mensili individua uno shift negativo intorno al 1987 e uno positivo intorno al 1970 comune a 6 delle nove serie storiche. Si evidenzia che i dati piezometrici mensili, rispetto a quelli pluviometrici invernali, racchiudono un maggiore numero di shift, alcuni dei quali anche durante gli anni '70 e '90 (Fig.8). L'ampiezza degli intervalli temporali nei quali si trova lo shift80 è mediamente e significativamente molto più breve, dell'ordine di qualche mese (Tab.2).



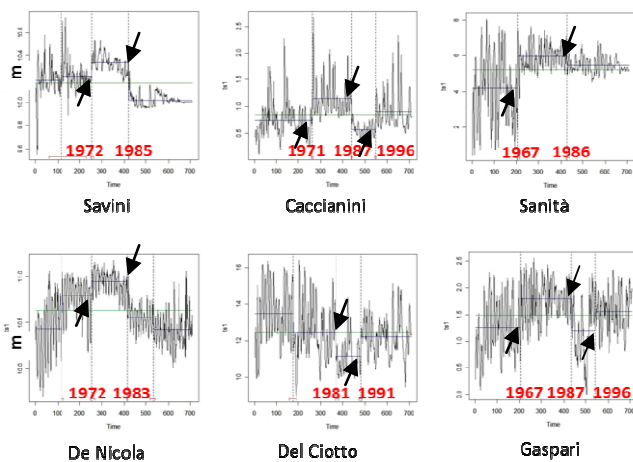


Fig. 8 – Break-points piezometrico mensile  
 Fig. 8 – Monthly hydraulic head break-point

Tab.2 – Shift delle piezometrie mensili anni’80  
 Tab.2 – Shift of the monthly piezometry data in the 80s

Piezometro	Break-point anni '80	Lunghezza intervallo di confidenza (90%)
Savini	dicembre 1985	3 mesi
Caccianini	luglio 1987	4 mesi
Sanità'	giugno 1986	20 mesi
De Nicola	giugno 1983	3 mesi
Del ciotto	agosto 1981	16 mesi
Gaspari	aprile 1987	11 mesi

Allo stesso modo applicando l’analisi di discontinuità ai dati piezometrici medi annui individuiamo nei sei pozzi comuni shift negativi del carico idraulico vicini al 1987 e positivi intorno al 1970. Anche in questo caso alcuni shift si individuano negli anni 90. L’intervallo di confidenza relativo allo shift80 risulta essere più significativo rispetto a quello pluviometrico stagionale invernale essendo compreso tra i 3 ed 8 anni (Fig.9).

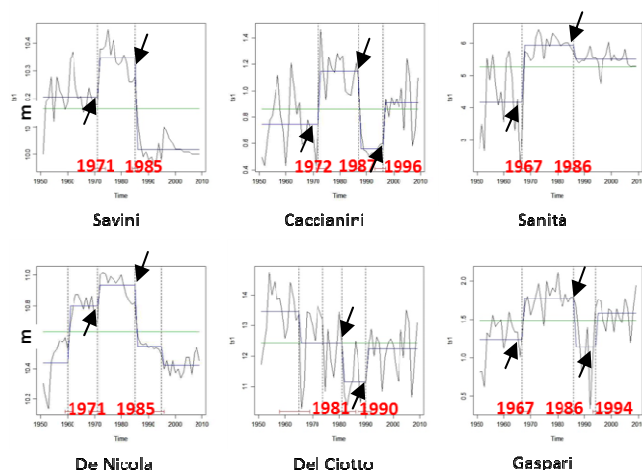


Fig. 9 – Break-points piezometrico annuale  
 Fig. 9 – Annual hydraulic head break-point

### Discussione e conclusioni

In Abruzzo le pluviometrie stagionali monitorate nel periodo 1951-2009 aventi trend significativamente in diminuzione sono risultate essere soprattutto quelle invernali.

L’analisi di discontinuità su tali precipitazioni invernali evidenzia la presenza di shift in diminuzione per gli stessi pluviometri negli anni '80, ma solo in quota e lungo la dorsale appenninica.

Il carico idraulico dei pozzi costieri, nonostante non risulti idrogeologicamente connesso a tutte le pluviometrie portatrici di discontinuità, manifesta in modo più significativo lo shift80 soprattutto nelle serie storiche annuali e mensili rispetto a quelle invernali; l’analisi statistica individua discontinuità piezometriche anche negli anni 70 e 90 (Reid et. al 2016).

La maggiore significatività dei dati piezometrici espressa da intervalli di confidenza più brevi rispetto a quelli pluviometrici soprattutto per i dati annuali e mensili è probabilmente dovuto al fatto che il carico idraulico non risponde solo all’apporto pluviometrico invernale, ma, oltre che dal regime termometrico regionale, dipende da parametri idrogeologici locali come la soggiacenza (che regola i tempi di arrivo della ricarica meteorica), la permeabilità e sua variazione nello spazio (che regola la velocità di flusso), le azioni antropiche quali urbanizzazione, irrigazione artificiale, regimazione delle acque superficiali (che modificano anche quantitativamente gli afflussi alla falda).

Rispetto alla precipitazione la piezometria sembra essere portatrice di una più vasta e significativa gamma di informazioni di natura idrogeologica (Chiaudani et al 2018) proponendosi come un proxy data più sensibile e potente rispetto ad essa. Verifiche e approfondimenti relativi a questa ipotesi di studio dovranno essere fatte con altri proxy idrologici analizzati contemporaneamente alle condizioni idrogeologiche locali.

### Bibliografia

Bai J., Perron P., 2003. *Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models*, Journal of Applied Econometrics, 18, 1-22. [doi: 10.1002/jae.659](https://doi.org/10.1002/jae.659)

Chiaudani. A., Di Curzio D., Palmucci W., Rusi S., 2015. *Relationships between Verde spring discharge, precipitation and Nao index in Abruzzo during 1987-2005 period*. Atti XVIII Convegno AIAM 2015, “Agrometeorologia per nutrire il pianeta: acqua, aria, suolo, piante, animali”, S. Michele all’Adige (TN), 9–11 giugno 2015, 37-38, ISBN 978-88-7843-043-3.

Chiaudani. A., Di Curzio D., Palmucci W., Pasculli A., Polemio M., Rusi S., 2017. *Statistical and Fractal Approaches on Long Time-Series to Surface-Water/Groundwater Relationship Assessment: A Central Italy Alluvial Plain Case Study*. Water, 9(11), 850. [doi: 10.3390/w9110850](https://doi.org/10.3390/w9110850)



- Di Lena B., Antenucci F., Rampa C., Giuliani D., 2011. *Analisi spazio temporale delle precipitazioni nella regione Abruzzo*, [www.regione.abruzzo.it/system/files/agricoltura/agrometeorologia/ATLANTE\\_PLUVIOMETRICO.pdf](http://www.regione.abruzzo.it/system/files/agricoltura/agrometeorologia/ATLANTE_PLUVIOMETRICO.pdf)
- Mariani L., 2001. *Dispensa di agrometeorologia*, Clesav, 290 pp.
- Reid, P. C., Hari, R. E., Beaugrand, G. , Livingstone, D. M., Marty, C. , Straile, D. , Barichivich, J. , Goberville, E., Adrian, R. , Aono, Y. , Brown, R. , Foster, J. , Groisman, P. H elaou t, P. , Hsu, H. , Kirby, R. , Knight, J. , Kraberg, A. , Li, J. , Lo, T. , Myneni, R. B., North, R. P., Pounds, J. A., Sparks, T. , St ubi, R. , Tian, Y. , Wiltshire, K. H., Xiao, D. and Zhu, Z., 2016. *Global impacts of the 1980s regime shift*. *Glob Change Biol*, 22: 682-703. [doi: 10.1111/gcb.13106](https://doi.org/10.1111/gcb.13106)
- Seidel J., Lanzante R., 2003. *An assessment of three alternative to linear trends for characterizing global atmospheric temperature changes*, *Journal of Geophysical Research*, Vol.109, 1-10. [doi: 10.1029/2003JD004414](https://doi.org/10.1029/2003JD004414)

# NET IRRIGATION REQUIREMENTS ANALYSIS OF SOME HORTICULTURAL CROPS OF THE FUCINO AREA

## ANALISI DEI FABBISOGNI IRRIGUI NETTI DI ALCUNE COLTURE DELLA PIANA DEL FUCINO

Bruno Di Lena<sup>1\*</sup>, Diego Guidotti<sup>2</sup>, Susanna Marchi<sup>2</sup> Vincenzo Di Genova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Regione Abruzzo- Ufficio direttiva nitrati e qualità dei suoli, coordinamento servizi vivaistici e agrometeo (Cepagatti- Scerni)

<sup>2</sup> Aedit srl - Pontedera

<sup>3</sup> Sata S.R.L. – Unità locale centro- San Benedetto dei Marsi (Aq)

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

### Abstract

The “Altopiano del Fucino” (Abruzzo Region) is an agricultural area located at 700 m a.s.l. and characterized by anthropic pressure due to cultivation of fresh vegetables and salad crops grown in the open. A lake occupied the whole area, laying amongst the surrounding mountains, including Velino and Sirente mts., reaching 2500 m a.s.l.. The lake was drained in 1875, by applying hydraulic engineering works, giving rise to a fertile agricultural area of 14,000 ha. Here, appropriate irrigation system and scheduling is crucial to respond to increasing variability in precipitation and meet water requirements of the area.

We describe the analysis of irrigation requirements of the most widespread cultivations in the area and their trend in the period 1951 – 2016. We calculated a simplified crop water balance using the platform AGROAMBIENTE.ABRUZZO, which follows the approach of FAO paper n.56 to estimate the crop water needs using agrometeorological data recorded in the area. The analysis of time series of crop water requirements is a valid indicator to monitor the response to ongoing climate changes.

### Parole chiave

Fucino, Agroambiente.Abruzzo, bilancio idrico

### Keywords

Fucino, Agroambiente.Abruzzo, water balance

### Introduzione

Le recenti disposizioni comunitarie (PSR 2014-2020) suggeriscono strategie di risparmio idrico, basate sulla conoscenza delle voci attive e passive del bilancio idrico delle colture, allo scopo di contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici. Nell'Europa meridionale, gli effetti delle attività antropiche e il risultante aumento generale delle temperature avranno un impatto durante l'estate, con conseguente diminuzione delle risorse idriche (Bindi e Olesen, 2011). Le conseguenze dei cambiamenti climatici, e degli eventi estremi ad essi connessi, varieranno molto in funzione dei sistemi colturali e delle peculiarità regionali. Pratiche agronomiche adattative, che minimizzino gli impatti negativi e sfruttino quelli positivi, sono necessarie.

Opzioni tecniche che favoriscano risparmi idrici in aree sottoposte ad agricoltura intensiva devono essere, quindi, investigate in ambiente Mediterraneo. L'esigenza di un corretto uso dell'acqua a fini irrigui è fortemente sentita nell'altopiano del Fucino dove il graduale passaggio dalla coltivazione di cereali e patate a quella di ortaggi di pieno campo ha determinato nel tempo un sensibile aumento del consumo di acqua.

In un contesto idraulico molto complesso, dove i periodici fenomeni di siccità e allagamenti provocano danni alle colture, si segnala inoltre l'assenza di un monitoraggio dei consumi di acqua prelevati dai canali di bonifica e dai pozzi profondi. L'attingimento dell'acqua dai pozzi modifica gli

equilibri ambientali, in un quadro già precario, e accentua il rischio di inquinamento delle falde.

Alla luce delle suddette problematiche, l'agricoltura di precisione rappresenta una forma alternativa di gestione sostenibile delle risorse del territorio, che però prevede la raccolta, l'analisi e la condivisione di una mole notevole di dati, attraverso piattaforme informatiche e sistemi di supporto alle decisioni (Branca *et al.*, 2011).

Con il presente lavoro, sono stati determinati, per mezzo del modulo di bilancio idrico semplificato inserito nella piattaforma informatica AGROAMBIENTE.ABRUZZO, i fabbisogni irrigui delle principali colture praticate nell'areale del Fucino. Per il calcolo del bilancio idrico sono stati utilizzati dati meteorologici registrati in una stazione presente nell'area del Fucino, attiva dagli inizi degli anni 50. Sono state calcolate e analizzate le serie storiche dei fabbisogni irrigui di alcune colture rappresentative dell'area per verificare segnali degli effetti del cambiamento del clima nelle richieste idriche dell'agricoltura, allo scopo di calibrare il consiglio irriguo per alcune colture tipiche dell'area.

### Materiali e Metodi

Lo studio sui fabbisogni irrigui netti è stato effettuato per le seguenti colture orticole di pieno campo: patata (ciclo precoce), carota (ciclo precoce), radicchio (trapiantato), spinacio (ciclo estivo), fagiolo borlotto fresco, cavolfiore (ciclo estivo) e lattuga (ciclo estivo)

I dati giornalieri di temperatura massima e minima, e pioggia cumulata necessari per il calcolo del modello di bilancio idrico, sono stati registrati dalla stazione di Avezzano (Ch) (42°01'48"N 13°26'24"E), nell'arco temporale 1951-2016, dal Servizio Idrografico Regionale e dal Centro Agrometeorologico regionale di Scerni. I dati meteorologici sono stati sottoposti ai controlli di consistenza interna e persistenza temporale prima di essere impiegati per i calcoli successivi.

Il bilancio idrico è stato stimato seguendo l'approccio proposto da Allen *et al.* (1998) nel quaderno FAO n. 56, "Irrigation and drainage paper". L'evapotraspirazione di riferimento è stata determinata con la formula di Hargreaves (Hargreaves e Samani, 1985) adattata alle condizioni climatiche locali, caratterizzate da forti escursioni termiche giornaliere durante il periodo estivo (Di Lena e Acutis, 2002)

L'altopiano del Fucino è caratterizzato da suoli con tessitura media, da franco limosa a limosa a franco limoso argillosa, ricchi di sostanza organica, con un contenuto di acqua disponibile in un metro di profondità pari a 150-200 mm (Chiuchiarelli e Santucci, 2012). Pertanto per il calcolo del bilancio idrico è stato considerato un suolo standard, le cui caratteristiche idrologiche sono state definite con una formula di *pedotransfer* (Saxton *et al.*, 1986); considerando un terreno con classe di tessitura franco-limoso (15% di argilla, 16% di sabbia e 69% di limo). Le durate dei cicli standard per le colture esaminate sono state definite adattando i valori indicati nel quaderno FAO 56 (Allen *et al.*, 1998) alle condizioni agronomiche locali a seguito di interviste a tecnici agronomi operanti nell'area (Tab. 1).

*Tab.1 - Durata dei cicli standard per le colture esaminate. Con "inizio" è definita la data di semina o trapianto. La fase 1 è quella iniziale, 2 è lo sviluppo colturale, 3 è la fase intermedia e 4 è la fase finale (come definito nel quaderno FAO, n. 56).*

*Tab.1 - Cultivation cycle for the crops analysed. "Inizio" is sowing or transplanting date. 1 is initial, 2 is crop development, 3 is mid-season; 4 is late season (as defined in FAO, paper n. 56).*

Coltura	Inizio	Durata delle fasi in giorni				Durata totale ciclo
		1	2	3	4	
Patata precoce	15/04	21	24	34	21	100
Carota precoce	01/04	19	25	38	13	95
Radicchio trapianto	01/06	19	28	14	9	70
Spinacio estivo	01/06	16	16	20	4	55
Fagiolo borlotto	01/06	15	22	29	15	80
Cavolfiore estivo	01/07	24	36	24	12	95
Insalata estiva	01/07	16	24	12	8	60

Il calcolo dell'evapotraspirazione effettiva delle colture è stato effettuato moltiplicando l'evapotraspirazione di

riferimento con i coefficienti colturali (Kc) desunti anch'essi dal quaderno FAO 56 e suddivisi per fase della coltura (Tab. 2)

*Tab.2 - Coefficienti colturali applicati per le diverse fasi del ciclo (iniziale: fase iniziale, medio: sviluppo colturale e fase intermedia, finale: fase finale).*

*Tab.2 - Crop coefficients applied for the different cycle phases (iniziale: initial, - medio: crop development and mid season - finale: late season).*

Coltura	Coefficiente colturale		
	iniziale	medio	finale
Patata	0,50	1,15	0,40
Carota	0,70	1,05	0,95
Radicchio	0,70	1,00	0,95
Spinacio	0,70	1,00	0,95
Fagiolo borlotto	0,40	1,15	0,35
Cavolfiore	0,70	1,05	0,95
Insalata	0,70	1,05	0,95

Per quanto concerne le piogge non sono state considerate come irrilevanti quelle con valori cumulati giornalieri inferiori a 5 mm, senza tuttavia applicare limiti superiori.

Nella tabella 3 è indicato per ciascuna coltura lo strato di suolo interessato dalle radici al raggiungimento del completo sviluppo, ai fini del bilancio idrico.

*Tab.3 - Spessore dello strato di suolo interessato dalle radici al loro completo sviluppo ed utilizzato per il calcolo del bilancio idrico.*

*Tab.3 - Depth of soil layer explored by roots at the complete development and utilized for the water balance calculation.*

Coltura	Strato di suolo (m)
Patata	0,35
Carota	0,40
Radicchio	0,30
Spinacio	0,30
Fagiolo borlotto fresco	0,40
Cavolfiore	0,40
Insalata	0,30

Per tutte le colture è stato considerato il metodo irriguo per aspersione: Il contenuto idrico del terreno è stato mantenuto tra due livelli, definiti rispettivamente come "soglia critica" e "soglia di riferimento". L'intervento irriguo è effettuato al raggiungimento del 50% dell'acqua disponibile (soglia critica), per riportare il contenuto idrico del suolo al 90% dell'acqua disponibile (soglia di riferimento) (Bagnoni e Giannini, 2000). Per acqua disponibile si intende la differenza tra la capacità di campo ed il punto di appassimento per ciascuna coltura.

Il contenuto idrico a inizio bilancio è stato considerato alla capacità di campo. Non sono stati considerati gli apporti di falda.

I fabbisogni idrici delle colture prese in esame sono stati calcolati utilizzando il sistema a supporto delle decisioni (DSS) per l'irrigazione contenuto nel portale AGROAMBIENTE.ABRUZZO e consultabile all'indirizzo <https://agroambiente.regione.abruzzo.it/>, sezione irri-nutri. Il DSS permette di ottenere la stima del bilancio idrico e di conseguenza delle richieste irrigue per le principali colture orticole, erbacee ed arboree (con diversi cicli di precocità) presenti sul territorio regionale abruzzese.

L'elaborazione statistica dei dati è stata effettuata con Microsoft Excel e con il software R (R Core Team 2016).

## Risultati e Discussione

Sono stati stimati i fabbisogni irrigui per tutta la lunghezza del ciclo per alcune colture, con specifico ciclo, rappresentative dell'area del Fucino, riportate in tabella 1, per gli anni compresi tra il 1951 ed il 2016.

Alle serie storiche dei fabbisogni irrigui sono state applicate statistiche descrittive della distribuzione i cui risultati sono riportati in tabella 4.

*Tab.4 - Statistiche descrittive di distribuzione applicate alle serie storiche dei fabbisogni irrigui di alcune colture rappresentative dell'area del Fucino.*

*Tab.4 - Descriptive statistics of data distribution of time series of irrigation requirements for some fresh vegetables and salad crops of Fucino area.*

Coltura	min	25° perc	mediana	75° perc	max	n. anni
Patata precoce	144,6	261,3	306,4	356,0	413,9	66
Carota precoce	57,9	212,7	252,5	302,8	388,3	66
Radicchio trapianto	161,2	249,3	287,2	316,0	383,4	66
Spinacio estivo	115,2	195,0	214,6	241,7	298,6	66
Fagiolo borlotto	170,6	289,5	317,4	346,6	412,1	66
Cavolfiore estivo	160,3	261,3	302,4	334,0	407,8	66
Insalata estiva	141,6	261,3	306,4	356,0	322,2	66

Le colture che hanno mostrato i consumi irrigui più elevati sono il fagiolo borlotto e la patata precoce, quest'ultima è anche quella con il ciclo in giorni più lungo. L'anno con il fabbisogno irriguo più basso è stato il 1978 per la carota precoce e il 1995 per il cavolfiore, mentre per le altre colture i volumi più bassi sono stati stimati per gli anni 1989 e 1991. Gli anni con i fabbisogni irrigui più elevati sono emersi essere quelli a partire dal 2007 per tutte le colture considerate, eccetto il cavolfiore (1980).

La significatività dei trend (dal 1951 al 2016) per i fabbisogni idrici delle diverse colture è stata verificata mediante l'applicazione del test non parametrico di Mann-Kendall stimando il coefficiente angolare  $\beta$  della retta interpolante i dati (Hirsh *et al.*, 1982).

I risultati dell'analisi, riportati in tabella 5, evidenziano l'elevata significatività per la maggior parte dei cicli colturali considerati (patata, radicchio, spinacio, cavolfiore, insalata), una significatività più bassa ma comunque statisticamente valida è emersa per fagiolo e carota.

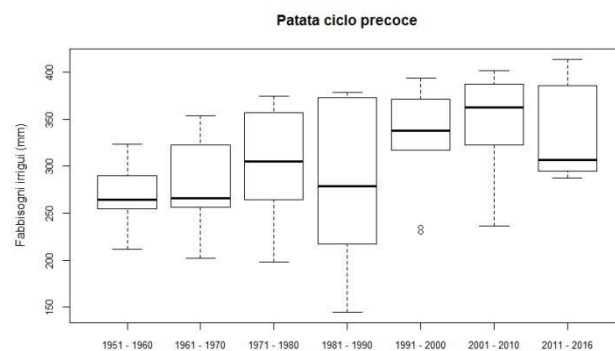
*Tab.5 - Risultati del test di Man-Kendall applicato alle serie storiche dei fabbisogni irrigui netti di alcune colture rappresentative dell'area del Fucino (\* P-value $\leq$ 0.05; \*\* P-value $\leq$ 0.01; \*\*\* P-value $\leq$ 0.001).*

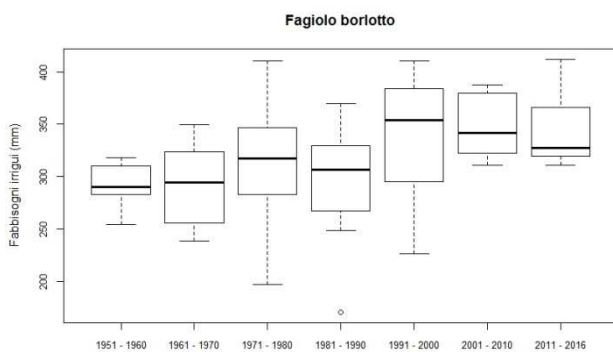
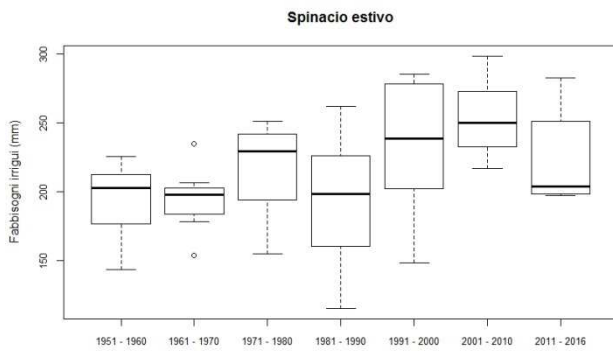
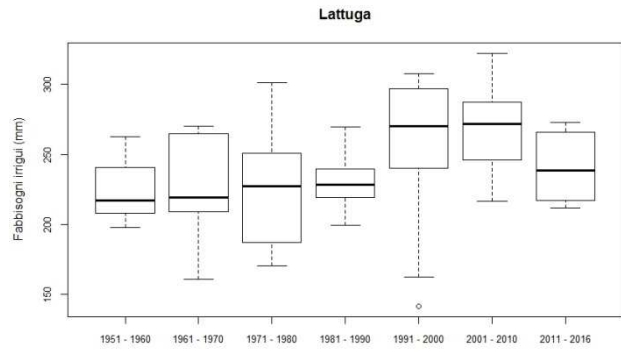
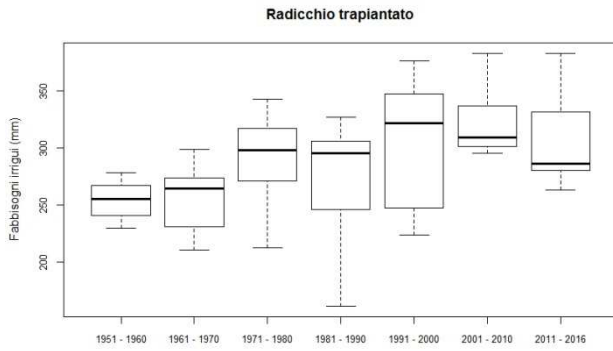
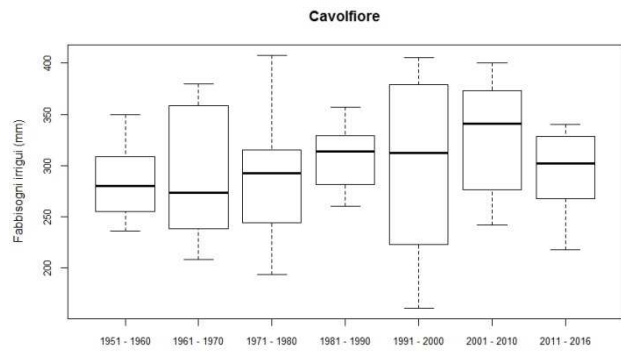
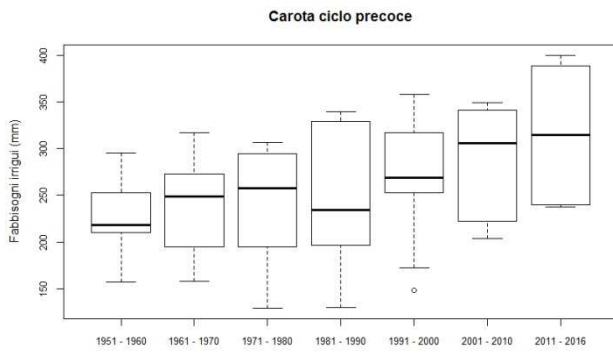
*Tab.5 - Results of the Mann-Kendall test applied to the Fucino area crop irrigation requirements (\* P-value $\leq$ 0.05; \*\* P-value $\leq$ 0.01; \*\*\* P-value $\leq$ 0.001).*

Coltura	Intercetta	$\beta$	Test Z	P
Patata precoce	262,7	1,28	3,44	***
Carota precoce	220,1	1,07	2,34	*
Radicchio trapianto	253,6	1,15	3,91	***
Spinacio estivo	190,8	0,89	3,36	***
Fagiolo borlotto	244,0	1,16	3,23	**
Cavolfiore estivo	284,4	1,11	3,96	***
Insalata estiva	262,7	1,28	3,44	***

L'aumento dei fabbisogni irrigui delle colture nel periodo considerato è sostanzialmente conseguenza dell'innalzamento delle temperature. Difatti analizzando anche i trend (periodo Aprile – Settembre dei medesimi anni) dell'evapotraspirazione di riferimento stimata con la formula di Hargreaves (che tiene conto delle temperature massime e minime giornaliere) e quello delle piogge cumulate emerge che solo il trend dell'ET0 è significativo, non le piogge (dati non mostrati).

Infine, sono stati realizzati box-plot per i fabbisogni irrigui per tutte le colture considerate (figura 1). A questo scopo il l'arco temporale considerato è stato suddiviso in periodi di 10 anni, eccetto il primo 1951-1960 (nove anni) e l'ultimo, 2011-2016 (sei anni). Per buona parte delle colture si osserva un incremento dei volumi irrigui necessari a partire dal decennio 1991-2000, anche se con una certa variabilità.





*Fig.1 – Fabbisogni irrigui stimati per alcune colture rappresentative dell'area del Fucino per gli anni 1951 – 2016 suddivisi in decenni. Ciascun boxplot riporta il range interquartile tra il primo ed il terzo quartile. La linea dentro il box indica la mediana. I baffi corrispondono ai valori distanti 1,5 volte la distanza interquartile a partire rispettivamente dal primo e dal terzo quartile. I pallini, ove presenti, rappresentano i valori outlier oltre i baffi.*

*Fig.1 – Seasonal irrigation requirements for some horticultural crops representative for the Fucino area for years 1951 – 2016, divided in ten years periods.*

*The box plot depicts the inter-quartile range (IQR) between First and third quartiles; the line inside is the median.*

*Whiskers indicate the lowest and highest values within 1.5xIQR from the first and third quartiles, respectively. Circles represent outliers beyond the whiskers*

## Conclusioni

Il modello di bilancio idrico disponibile sul portale AGROAMBIENTE.ABRUZZO ha consentito di realizzare una buona stima dei fabbisogni irrigui delle principali colture presenti nell'altopiano del Fucino, la più importante area agricola della Regione Abruzzo, e tra le principali del territorio nazionale per la produzione di ortaggi freschi. Sul DSS specifico per l'irrigazione è possibile ottenere le richieste irrigue anche per altre colture erbacee, orticole ed arboree per diversi cicli di precocità.

L'analisi ha evidenziato un incremento dei fabbisogni irrigui in linea con i modelli previsionali sui cambiamenti climatici per l'area Mediterranea. La combinazione di sistemi di supporto alle decisioni e modelli agroclimatici con le esperienze tecniche maturate in loco aiuta nella



diagnosi precoce degli effetti dello stress idrico sulle colture, ottimizzando l'uso delle risorse idriche, e rappresenta una risposta adattativa ai cambiamenti climatici in atto.

### **Bibliografia**

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.

Bindi M., Olesen J.E., 2011. The responses of agriculture in Europe to climate change. *Regional Environmental Change*, 11, 151-158.

Branca G., McCarthy N., Lipper L., Jolejole, M. C., 2011. Climate-smart agriculture: a synthesis of empirical evidence of food security and mitigation benefits from improved cropland management. *Mitigation of climate change in agriculture series*, 3, 1-42.

Chiuchiarelli I., Santucci S., 2012. Il Fucino- il tesoro del lago "la risorsa suolo". Pagg. 174

Di Lena B., Acutis M., 2002. Confronto tra stime della evapotraspirazione di riferimento ai fini dell'assistenza all'irrigazione in Abruzzo. Atti convegno AIAM Acireale 6-7 Giugno 2002.

Hargreaves G., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. Agric.*, 1, 96-99.

Giannini A., Bagnoni V. 2000,. Schede di tecnica irrigua per l'agricoltura toscana. Manuale ARSIA Regione Toscana. Pp., 134.

Hirsch R.M., Slack J.R., Smith R.A., 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resour Res*, 18, 107-121

Saxton K. E., Rawls W., Romberger J. S., Papendick, R. I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture 1. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 1031-1036.

# THE AGROMETEOROLOGY ON THE WEBSITE OF THE ITALIAN NATIONAL RURAL NETWORK

## L'AGROMETEOROLOGIA SUL SITO DELLA RETE RURALE NAZIONALE

Stanislao Esposito<sup>1\*</sup>, Roberta Alilla<sup>1</sup>, Giovanni Dal Monte<sup>1</sup>, Flora De Natale<sup>1</sup>, Chiara Epifani<sup>1</sup>,  
Eleonora Gerardi<sup>1</sup>, Barbara Parisse<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CREA-AA - Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria - Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente, Via della Navicella 2-4, 00184, Roma

\* stanislao.esposito@crea.gov.it

### Abstract

Agrometeorological resources have been developed in Italy by several services, both at an administrative regional and at a national level. These resources are crucial to apply sustainable farming practices for the maintenance and improvement of the agricultural ecosystems. In the framework of the Italian national rural network, the Agrometeore project aims to strengthen agrometeorological services, promoting the sharing of knowledge and data and providing a minimum set of products on a national scale (agrometeorological and phenological bulletins, climatology, meteo-climate analysis, etc). As a project core activity, a special section of the website of the Italian national rural network was devoted to the dissemination of data and results provided by the project, as well as by the regional services, for which a subsection acts as a sort of web-portal. Through these pages it is possible to find information on the institutions involved and on the related links, as a first step to develop synergies.

### Parole chiave

Agrometeorologia, Fenologia, Bollettini Agrometeorologici, Bollettini Fenologici, Divulgazione

### Keywords

Agrometeorology, Phenology, Agrometeorological Bulletins, Phenological Bulletins, Dissemination

### Introduzione

Nel settore agricolo, per ottemperare alla normativa europea e nazionale, in particolare sulla produzione integrata (direttiva 2009/12/CE, recepita in Italia con il D.Lgs.150/2012, con la conseguente adozione del Piano di Azione Nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari), le Regioni (e Province autonome) devono attivare e/o potenziare i loro servizi agrometeorologici. Nel quadro del programma di Rete Rurale Nazionale, il progetto Agrometeore ha l'obiettivo di svolgere un ruolo di coordinamento tra i servizi agrometeorologici regionali per stimolare e facilitare la condivisione delle informazioni e delle competenze nel campo agrometeorologico. In Italia, oltre alla rete e ai servizi di monitoraggio meteorologico nazionale, sono state create reti e servizi locali in diverse Regioni, ciascuno con la propria strategia di comunicazione dei dati e degli elaborati messi a disposizione.

Una delle attività del progetto Agrometeore è stata la realizzazione di una sezione sull'agrometeorologia all'interno del sito Rete Rurale Nazionale ([www.reterurale.it/agrometeo](http://www.reterurale.it/agrometeo)). Queste pagine web si propongono come strumento per la diffusione di informazioni, dati e prodotti agrometeorologici, a livello sia nazionale che regionale. Una specifica sottosezione è infatti dedicata ai servizi regionali e si propone di orientare gli utenti nella navigazione attraverso i siti relativi alle diverse Regioni.

### Materiali e Metodi

Gli elaborati meteoroclimatici pubblicati sulle pagine web si basano sui dati meteorologici e previsionali presenti nella Banca Dati Agrometeorologica Nazionale del SIAN (Sistema Informativo Agricolo Nazionale) del MiPAAF. In particolare, vengono utilizzati i dati del modello previsionale DALAM e i dati meteo spazializzati, entrambi con copertura nazionale su griglia regolare a risoluzione spaziale di circa 10 km di lato (0.14°/0.10° Long/Lat).

La Sezione Agrometeore del sito di Rete Rurale Nazionale è stata progettata e realizzata in modo coerente con l'architettura e la veste grafica del resto del sito. Le pagine del sito di Rete Rurale Nazionale sono realizzate tramite la piattaforma FlexCMP (<http://www.flexcmp.com>), un software di gestione contenuti (Content Management System – CMS) che consente di creare e gestire siti Internet interamente via web, attraverso un'interfaccia grafica di supporto molto intuitiva. In fase di costruzione delle pagine, l'interfaccia generale presenta una barra degli strumenti laterale, che contiene tutti gli strumenti per la gestione dei contenuti, e un pannello per progettare la struttura di pagina, con una serie di elementi obbligatori ed una sezione per l'inserimento dei contenuti veri e propri (titoli, paragrafi, immagini, etc.).

La struttura della Sezione è stata articolata in diverse sezioni e sottosezioni, tutte accessibili attraverso un menù laterale, con l'obiettivo di dare visibilità sia alle attività svolte con il progetto sia a una serie di altri servizi e prodotti specifici per gli *stakeholders*.

## Risultati

La *home page* Agrometeo (fig. 1) si compone di due sezioni principali, una a livello nazionale, da dove è possibile accedere direttamente al “Bollettino agrometeo giornaliero”, al “Bollettino fenologico settimanale” e alle pagine di “Allerta caldo bovini” e un’altra relativa all’agrometeorologia regionale a cui si accede tramite una mappa interattiva dell’Italia.

Cliccando su ogni singola regione, si apre una nuova pagina che riporta una breve descrizione dell’organizzazione del servizio agrometeorologico regionale e i link al servizio stesso e a quello fitosanitario oltre che ai relativi bollettini agrometeorologici e fitosanitari. In particolare, nella sezione Agrometeo sono state sviluppate sei sottosezioni, ognuna delle quali si articola su più pagine con diversi contenuti, accessibili dal menù:

- 1) Previsioni meteo Italia
- 2) Fenologia
- 3) Stress da caldo bovini
- 4) Monitoraggio meteo
- 5) Agroclima
- 6) Materiali Agrometeore



Fig.1 – Schermata Home del progetto Agrometeore  
Fig.1 – Agrometeore Home Page

Di seguito vengono brevemente illustrati i contenuti pubblicati nelle diverse sottosezioni.

### 1) Previsioni meteo Italia

(<https://www.reterurale.it/previsionimeteo>)

La disponibilità di informazioni meteo può rivestire un’importanza notevole nella gestione degli agroecosistemi. In particolare i bollettini giornalieri agrometeorologici di tipo previsionale, a diverse scale temporali e spaziali, sono utili a supportare le decisioni degli operatori agricoli sugli interventi agronomici più convenienti da mettere in atto a

breve termine. Tramite i *link* riportati nella sezione, è possibile accedere alle mappe di previsione di temperatura minima, temperatura massima e precipitazione totale sull’intero territorio nazionale, disponibili per i successivi sei giorni, ottenute con il modello di previsioni meteorologiche DALAM, operativo in ambito SIAN.

### 2) Fenologia

(<https://www.reterurale.it/fenologia>)

Questa sottosezione si apre con una breve introduzione alla fenologia vegetale, dove vengono spiegati il significato e l’importanza dei dati e dei modelli fenologici per le diverse pratiche agricole (trattamenti fitosanitari, concimazioni, irrigazioni, ecc.) oltre che nel settore dell’allergologia (pollini in fase di fioritura). Dal sottomenù si accede alle pagine del “Bollettino fenologico settimanale” dove è possibile scaricare l’ultimo bollettino pubblicato e consultare l’archivio di quelli pregressi (per tutto il 2017). Alla voce “Carte fenologiche” sono consultabili le carte fenologiche di analisi e previsione pubblicate nei diversi bollettini. Le “Specie monitorate” descrivono le 4 specie considerate, vite (*Vitis vinifera* L.), con due vitigni di riferimento: Chardonnay (a bacca bianca, precoce) e Cabernet Sauvignon (a bacca rossa, medio-tardivo), l’olivo (*Olea europaea* L.), la robinia (*Robinia pseudoacacia* L.) e il castagno (*Castanea sativa* Mill.), particolarmente interessanti per gli apicoltori per la produzione del miele monoflorale di acacia e castagno. Il sottomenù si chiude con le voci “Immagini fenologiche”, con foto rappresentanti le varie fasi fenologiche, e “Documenti”, con la documentazione fenologica di riferimento.



Fig.2 – Schermata Bollettino Fenologico  
Fig.2 – Phenological Bulletin Home page

### 3) Stress da caldo bovini

(<http://www.reterurale.it/allertacaldo>)

Queste pagine forniscono informazioni utili agli allevatori nella stagione estiva, in particolare per contrastare lo stress da caldo nelle bovine da latte grazie all’applicazione di un apposito indice bioclimatico. La prolungata permanenza in condizioni di stress da caldo compromette infatti lo stato di salute degli animali e ne altera la produttività.

Navigando attraverso il sottomenù, è possibile:

- leggere una descrizione dell’indice bioclimatico applicato THI (*Temperature Humidity Index*), il cui uso è ormai consolidato per gli allevamenti bovini (Lacetera e Nardone,

1996), che permette di valutare la temperatura ambientale percepita in relazione ai valori dell'umidità relativa dell'aria (alla voce "Come si misura lo stress da caldo");

- visualizzare le mappe a scala nazionale di previsione dell'indice ("Previsioni dello stress"). Le previsioni si riferiscono al diverso grado di rischio stimato per le ore diurne e notturne sia per gli aspetti produttivi, sia per la salute degli animali, fino alle condizioni estreme di mortalità;

- trovare indicazioni sulle principali misure sia di tipo strutturale che di *management* aziendale da adottare per la gestione delle condizioni di caldo eccessivo negli allevamenti bovini ("Gestione del caldo");

- accedere ad informazioni sulle conseguenze negative dello stress termico ("Effetti negativi del caldo") e sui fattori di suscettibilità al caldo negli allevamenti ("Suscettibilità al caldo");

- calcolare il THI di un determinato allevamento, inserendo le misure di temperatura e umidità dell'aria ("Calcola il tuo THI").

#### 4) Monitoraggio meteo

(<https://www.reterurale.it/notiziarioagrometeo>)

In queste pagine vengono rappresentati in forma grafica i principali risultati del monitoraggio meteorologico annuale. In particolare, con aggregazione a livello regionale, sono mostrati i grafici, corredati anche dei dati numerici, degli andamenti di temperatura minima, temperatura massima, precipitazione totale ed evapotraspirazione, elaborati a livello mensile e decadale, messi a confronto con i valori climatici del trentennio 1981-2010. Attualmente sono accessibili in rete i grafici a livello regionale per l'anno 2017, mentre quelli dell'anno 2018 sono in corso di elaborazione.

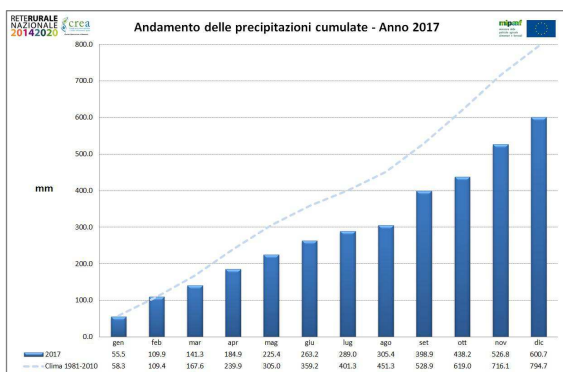


Fig.3 – Esempio di grafico della sottosezione Monitoraggio meteo

Fig.3 –An example of chart published on the Weather Monitoring: web pages

#### 5) Agroclima

(<https://www.reterurale.it/agroclima>)

La sottosezione è dedicata ai dati climatici generalmente utilizzati per le applicazioni in agricoltura.

In particolare, i dati pubblicati si riferiscono a temperatura minima, temperatura massima, precipitazione ed evapotraspirazione, utilizzati come base per elaborare le mappe dell'*Atlante italiano del clima e dei cambiamenti climatici* (Esposito *et al.*, 2015), volume scaricabile dal sito in formato pdf, relative al trentennio 1981-2010. Inoltre vengono pubblicati i "Dati non aggregati 1981-2010", che si riferiscono ai valori climatici di ogni singola cella della griglia 10x10 km, forniti sia in formato GeoTIFF, per una rapida ed esatta rappresentazione su sistemi GIS/WebGIS, sia in formato di testo CSV. Nelle pagine "Dati aggregati 1981-2010" gli stessi dati sono aggregati a livello nazionale, regionale e provinciale e sono disponibili in formato CSV. In entrambi i casi sono scaricabili anche i principali metadati descrittivi nei file "Anagrafica agrometeo nodi di griglia" (intendendo per nodi i centroidi delle celle) e "Descrizione requisiti agrometeo nodi di griglia".

#### 6) Materiali Agrometeore

(<http://www.reterurale.it/materialiagrometeore>)

Quest'ultima sottosezione riporta i principali documenti e report prodotti durante lo svolgimento del Progetto Agrometeore.

#### Discussione e Conclusioni

Grazie al lavoro di progettazione delle pagine web e agli strumenti offerti dalla piattaforma FlexCMP, la sezione Agrometeo realizzata risulta facile da aggiornare e da implementare, sicura, personalizzabile e di semplice consultazione da parte degli utenti. Questi ultimi possono infatti spostarsi piuttosto agevolmente tra i contenuti e recuperare velocemente le informazioni desiderate. Come è possibile rilevare consultando le statistiche degli accessi prodotte in tempo reale dalla piattaforma, la sezione Agrometeo ha riscosso un buon numero di visite da quando è stata realizzata. Limitando il controllo delle visualizzazioni al mese di maggio 2018, ad esempio, la sottosezione Fenologia, è tra le prime 15 più visitate. In particolare, il 45% del totale degli accessi alla sezione ha riguardato proprio le pagine di Fenologia: nello specifico il 57% degli utenti era interessato al Bollettino fenologico della settimana, il 27% ai bollettini precedenti e circa il 15% al materiale relativo al monitoraggio fenologico.

Questi risultati sono coerenti con uno degli obiettivi del progetto Agrometeore, che punta a migliorare la comunicazione e la diffusione delle informazioni agrometeorologiche. Ulteriori sviluppi del sito web, attraverso gli strumenti offerti dalla piattaforma utilizzata, potrebbero essere disponibili in futuro, per facilitare lo scambio tra gli utenti e favorire nuove sinergie nel settore, in linea con l'obiettivo principale del progetto. In particolare si tratta della creazione di specifiche aree riservate del sito dedicate alla comunità degli utenti interessati all'agrometeorologia e di quella di un *Social Network* specifico, per favorire l'interazione nella rete dei contatti istituzionali, condividendo documenti, collegamenti, immagini e video, notificati e commentabili,

creare gruppi di lavoro con i relativi *forum* di discussione, creare eventi e notificarli ai diversi utenti iscritti.

### **Ringraziamenti**

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del Programma Rete Rurale Nazionale 2014-2020. Un particolare ringraziamento al collega Mario Cariello, del CREA-PB, per il suo prezioso supporto tecnico nella fase di progettazione delle pagine web.

### **Bibliografia**

Esposito S., Beltrano M. C., De Natale F., Di Giuseppe E., Iafrate L., Libertà A., Parisse B. e Scaglione M., 2015.

Atlante italiano del Clima e dei Cambiamenti Climatici. Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA), Unità di ricerca per la climatologia e la meteorologia applicate all'agricoltura, Roma, pp. 264

Lacetera N., Nardone A., 1996. Thermal environment affects physiology and productivity of intensively managed livestock. The case of heat stress in dairy cows. Proceedings 1st Korea Italy Joint Symposium Use of Agricultural Wastes and Animal Production-Environment Interrelationship, 153-172.



# CLIMATE TREND, QUALITY OF FRUITS AND OLIVE OIL IN 2016/17 BIENNIUM IN BASILICATA REGION

## ANDAMENTO CLIMATICO, QUALITÀ DELLE DRUPE E DELL'OLIO DI OLIVA IN BASILICATA NEL BIENNIO 2016/17

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

<sup>1</sup> ALSIA - Centro Ricerche Metapontum Agrobios, SS 106 km 448,2 - 75012, Metaponto (MT)

<sup>2</sup> ALSIA - Area Servizi Agricoli di Base, SS 106 km 448,2 - 75012, Metaponto (MT)

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

### Abstract

The quality of Extra Virgin Olive Oil is influenced by cultivation and milling techniques. However, the olive fruit fly (*Bactrocera oleae*), the invasive and key pest in South of Italy, can determine, in unfavourable years, high production damage and extremely negative quality characteristics of oils. In 2016/17 biennium, at harvest time, the quality of olive fruits (weight, moisture content, ripening index, damage from *B. oleae* and consistency of the pulp) and of olive oils (acidity and peroxides) were determined. The results showed positive results of 2017 olive production, with differences respect to 2016, for the main quality parameters analysed both in olive fruits (weight -12.7%, humidity content -7.9%, ripening index +13.6%, olive fly damage -99.4%, pulp consistency + 15.6%) and both in olive oils (acidity -66.6% and peroxides -40.1%). On the other hand, the thermopluviometric parameters may have had influences both on the olive fruit fly life cycle and on fruit ripeness, with important differences for some of the parameters detected (number of days with maximum and minimum air temperature, respectively equal to -56.5% and -50.7% in 2016 compared to 2017, mean precipitation and humidity +60.2% and +7.3% respectively).

### Parole chiave

*Bactrocera oleae*, Temperatura, Precipitazioni, Olivicoltura, Regione Basilicata,

### Keywords

*Bactrocera oleae*, Temperature, Precipitation, Olive growing, Basilicata Region,

### Introduzione

La qualità dell'olio Extra Vergine di Oliva è influenzata dalle tecniche di coltivazione e da quelle di molitura. Tuttavia, la mosca delle olive (*Bactrocera oleae*), fitofago chiave della coltura, può determinare, in annate sfavorevoli, forti danni produttivi e caratteristiche estremamente negative della qualità degli oli (Lacertosa et al., 2007). La temperatura è il fattore abiotico che più condiziona la mosca dell'olivo, i picchi massimi estivi limitano l'attività degli adulti, rallentano le ovodeposizioni e ostacolano lo sviluppo larvale, un inverno rigido, invece, può diminuire l'entità della popolazione svernante influenzando la sopravvivenza delle pupe nel terreno (Wang et al., 2009; Wang et al., 2013, Petacchi et al., 2015). Anche le precipitazioni hanno effetto sull'attività della mosca, in caso di stress idrico durante il periodo estivo la scarsa turgidità rende l'oliva meno recettiva all'ovodeposizione (Marchi et al., 2015). Peraltro le annate caratterizzate da un'anomala distribuzione delle precipitazioni e da temperature elevate influenzano gli indici di maturazione e l'andamento della cascola e quindi il periodo di raccolta ottimale (Paoletti et al., 2014).

Obiettivo della ricerca è stato valutare, per le varietà di olivo prevalenti in Basilicata e considerando il fitofago chiave della coltura, le interazioni tra fenologia delle piante, qualità delle produzioni ed andamento meteorologico.

### Materiali e Metodi

Da un gruppo di aziende lucane, partecipanti ad Oliobiotech (progetto finalizzato al miglioramento della produzione olivicola), sono stati determinati i dati qualitativi dei frutti (36 e 51 campioni rispettivamente nel 2016 e nel 2017) e degli oli di oliva (79 e 149 campioni). Al momento della raccolta, nel biennio di osservazione, è stata analizzata la qualità delle drupe (peso, contenuto di umidità, indice di invaiatura, danno da *B. oleae* e consistenza della polpa). In particolare l'indice di invaiatura (compreso tra 0 e 7) è stato determinato pesando le olive delle otto classi di maturazione (indice di Jean), mentre il danno da *B. oleae* è stato calcolato sulle olive, rilevando le punture o le gallerie con o senza la presenza di larve.

Sono inoltre stati determinati acidità e perossidi su oli, rappresentativi della realtà olivicola lucana, tra cui quelli ottenuti dai campioni di olive analizzati. I dati di quattro stazioni agrometeorologiche (Melfi, Matera, Lavello e Metaponto) sono stati impiegati per rappresentare l'andamento climatico del biennio di studio e per effettuare simulazioni, su base esclusivamente climatica, del ciclo biologico di *B. oleae*, mediante un modello a cura del Laboratorio entomologico della Scuola Sant'Anna, Istituto Scienze della Vita di Pisa (Petacchi et al., 2015; Marchi et al., 2016).

## Risultati e Discussione

In tabella 1 si riportano le caratteristiche qualitative dei frutti e degli oli di oliva nel biennio di osservazione. I risultati evidenziano i positivi risultati della produzione olivicola del 2017 rispetto a quella del 2016 sia per la migliore qualità dei frutti, sia per le caratteristiche qualitative degli oli. Infatti le drupe del 2017 non hanno mostrato danni da mosca dell'olivo, il danno da *B. oleacea* è stato infatti inferiore del 99,4% rispetto alla forte infestazione del 2016. Inoltre i frutti, sempre al momento della raccolta, risultavano più piccoli, con un minore contenuto di umidità, un maggiore indice di invaiatura e di consistenza della polpa (rispettivamente -12,7 -7,9 +13,6% e +15,6% per il 2017 rispetto al 2016).

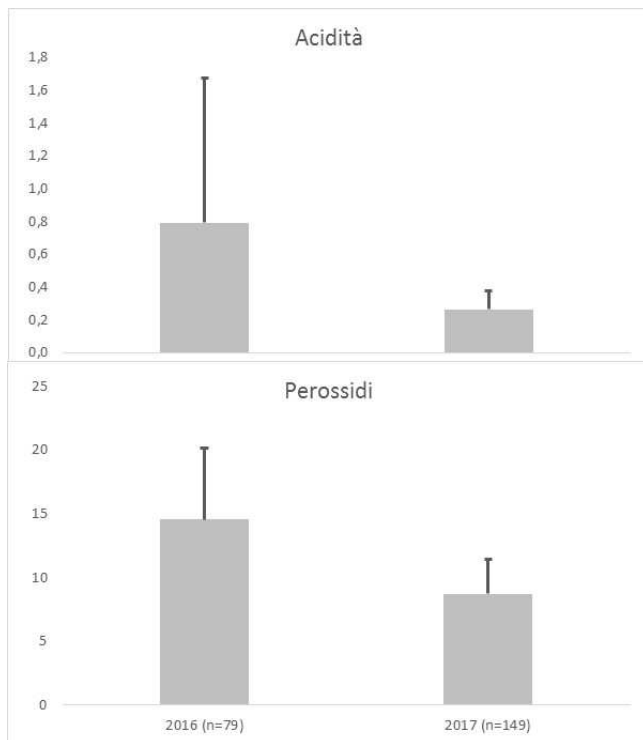


Fig.1 - Caratteristiche chimiche degli oli analizzati (valore medio e deviazione standard)

Fig.1 – Chemical characteristics of olive oils (mean value and standard deviation)

Tab.1 - Caratteristiche qualitative dei frutti e degli oli

Tab.1 - Qualitative characteristics of fruits and olive oils

Parametri qualitativi	2016	2017	2017 vs 2016 (%)
Peso drupa (g)	2,71	2,37	-12,73
Contenuto in acqua (%)	56,80	52,30	-7,92
Indice di invaiatura (I)	2,36	2,68	+13,65
Danno da mosca (%)	53,56	0,30	-99,43
Consistenza polpa (g)	221,42	256,0	+15,62
Acidità dell'olio (%)	0,79	0,26	-66,60
Numero di perossidi	14,54	8,71	-40,08

Anche la produzione di olio di oliva del 2017 ha beneficiato della ridottissima infestazione di *B. oleae* con parametri

chimici di acidità e perossidi ottimali ed inferiori del 66,6 e del 40,1% rispetto al 2016 (tabella 1 e figura 1).

In tabella 2 si riportano le caratteristiche climatiche del biennio di prova (valori medi per le quattro stazioni considerate), ove i dati di ciascun anno si riferiscono ad un periodo di osservazione che va da novembre a ottobre.

I parametri climatici considerati evidenziano alcune delle caratteristiche differenziali delle due annate. Il 2016 si è contraddistinto, nel periodo invernale, per un minor numero di giornate fredde e valori maggiori di temperatura dell'aria rispetto al 2017 (rispettivamente -18,93 -54,32 -96,43% per le giornate fredde e +33,19% per la temperatura media). D'altro canto l'estate del 2016 ha presentato un minor numero di giornate calde ed una minore temperatura dell'aria (rispettivamente -19,06 -35,77 e -65,63% per le giornate calde e -8,67% per la temperatura media).

Tab.2 - Caratteristiche climatiche nel biennio di prova (valori medi per le quattro stazioni considerate)

Tab.2 - Climatic characteristics in the biennial trial period (mean values for the four agrometeorological stations)

Parametri climatici	2016	2017	2016 vs 2017 (%)
N di GG Tmax>30	68,5	84,5	-18,93
N di GG Tmax>35	18,5	40,5	-54,32
N di GG Tmax>40	0,3	7,0	-96,43
Pioggia (mm)	737,6	460,4	+60,20
Umidità med (%)	66,1	61,5	+7,33
N di GG Tmin <+3	60,5	74,75	-19,06
N di GG Tmin <0	19,8	30,8	-35,77
N di GG Tmin <-3	2,75	8,00	-65,63
Tmed inverno	8,62	6,48	33,19
Tmed estate	23,53	25,76	-8,67
Tmed anno	15,33	15,41	-0,51

Il modello previsionale utilizzato ha evidenziato l'influenza delle temperature sull'infestazione di *B. oleacea* nel biennio considerato. Le marcate differenze climatiche tra i due anni hanno inciso sensibilmente sulla mortalità estiva (tabella 3), che nel 2017 rispetto al 2016 è aumentata da un minimo di 1.6 volte a Metaponto (area costiera) a un massimo di 3 volte a Melfi (area collinare interna). Peraltro il modello ha rilevato una ridotta incidenza sulle generazioni del fitofago (variabili da circa 4,5 nell'area costiera a circa 3,5 in quella collinare interna).

Tab.3 - Mortalità media giornaliera (1 Luglio - 31 Agosto)

Tab.3 - Mean daily mortality (1 July - 31 August)

Anno	Lavello	Melfi	Metaponto	Matera
2016	8%	3%	8%	10%
2017	19%	9%	13%	23%
2017vs 2016	+2,4	+3,0	+1,6	+2,3

Per le precipitazioni e l'umidità relativa dell'aria il 2016 è risultato più piovoso ed umido rispetto al 2017 (rispettivamente del 60,2 e 7,3% per la pioggia e l'umidità dell'aria). In particolare il 2017 si è caratterizzato per un

lungo periodo siccitoso, a causa delle ridotte precipitazioni primaverili ed estive (figura 2).

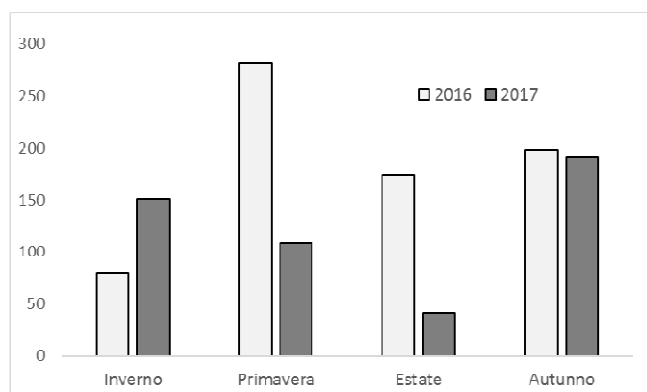


Fig.2 – Precipitazioni stagionali (mm) nel biennio di prova (valori medi per le quattro stazioni).

Fig.2 - Seasonal precipitation (mm) in the biennial period (mean values for the four agrometeorological stations)

In figura 3, con grafico radar, si riassumono i principali parametri differenziali analizzati in questo lavoro tra le due annate, sia per le caratteristiche qualitative della produzione (drupe e oli), sia per i parametri climatici. Come evidente, questa rappresentazione grafica sintetizza ed evidenzia chiaramente le differenze rilevate tra il 2016 e il 2017.

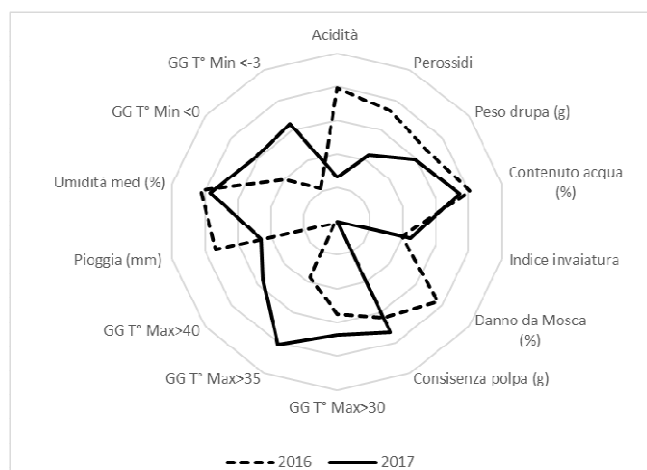


Fig.3 - Grafico degli indici delle caratteristiche qualitative e parametri meteorologici del biennio di osservazione.

Fig.3 - Index graph of qualitative characteristics and meteorological parameters of the biennial period.

### Conclusioni

L'analisi climatica e quella condotta sulle drupe e sugli oli ha evidenziato una marcata differenza tra i due anni considerati. La differente qualità dell'olio deriva, ovviamente, dalla qualità dei frutti e principalmente dal parametro di infestazione da mosca delle olive; ciò ha permesso di ottenere una migliore qualità nel 2017.

L'analisi dei dati sembra quindi confermare l'influenza che i parametri termopluviometrici delle due annualità, ed in particolare le temperature estreme del periodo invernale e

di quello estivo, hanno avuto sul ciclo biologico del fitofago chiave. Peraltro anche il modello di previsione utilizzato e la bibliografia sull'argomento confermano l'importanza e l'influenza delle temperature estive, quale fattore abiotico limitante l'attività degli adulti, le ovodeposizioni e lo sviluppo larvale. Mentre l'inverno rigido può avere influenza sulla popolazione svernante. Anche la differente distribuzione delle precipitazioni ha avuto influenza su qualità, dimensione e maturazione dei frutti. Peraltro le scarse precipitazioni del 2017 possono aver determinato una scarsa turgidità delle olive rendendole meno recettive all'ovodeposizione della mosca delle olive.

### Ringraziamenti

a) Susanna Marchi e Ruggero Petacchi del Laboratorio entomologico della Scuola Sant'Anna, Istituto Scienze della Vita di Pisa, per le elaborazioni dei dati climatici con i modelli in uso presso l'Istituto per la progettazione e gestione delle reti di monitoraggio di *B. oleae*.

b) I tecnici del Servizio Agrometeorologico Lucano.

### Bibliografia

- Lacertosa G., Montemurro F., Scalcione E., 2007. Qualità degli oli di oliva in Basilicata e caratteristiche climatiche. *Italian Journal of agrometeorology*, 7: 44-45
- Marchi S., Guidotti D., Ricciolini M., Petacchi R., 2015. Mosca delle olive: un modello previsionale per salvaguardare la qualità. *L'Informatore Agrario*, 6: 66-70.
- Marchi S., Guidotti D., Ricciolini M., Petacchi R. 2016. Towards understanding temporal and spatial dynamics of *Bactrocera oleae* (Rossi) infestations using decade-long agrometeorological time series. *International Journal of Biometeorology*. 60: 1681-1694.
- Paoletti A., Carluccio G., Rosati A., Alfei B., Perri E., Pannelli G., 2014. Come l'andamento meteo influenza le olive e l'olio. *L'Informatore Agrario*, 11: 59-63.
- Petacchi R., Marchi S., Federici S., Ragaglini G., 2015. Large-scale simulation of temperature-dependent phenology in wintering population of *Bactrocera oleae* (Rossi). *Journal of Applied Entomology*, 139: 496-509.
- Wang X.G., Johnson M.W., Danae K.M., Opp S., 2009. Combined Effects of Heat Stress and Food Supply on Flight Performance of Olive Fruit Fly (Diptera: Tephritidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 102: 727-734.
- Wang X.G., Levy K., Nadel H., Johnson M.W., Blanchet A., Argov Y., Pickett C.H., Daane K.M., 2013. Overwintering survival of olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) and two introduced parasitoids in California. *Environmental Entomology*, 42: 467-476.

# SPATIAL IDENTIFICATION OF CONSTRAINED ITALIAN AGRICULTURAL AREAS BY ADVERSE CLIMATIC CONDITIONS ACCORDING TO REGULATION (EU) No. 1305/2013

## IDENTIFICAZIONE SPAZIALE DELLE AREE AGRICOLE ITALIANE AFFETTE DA VINCOLI CLIMATICI SECONDO IL REGOLAMENTO (UE) N. 1305/2013

Flavio Lupia<sup>1</sup>, Luca Frascchetti<sup>1</sup>, Daniela Storti<sup>1</sup> e Angelo Libertà<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CREA – Research Centre for Policies and Bioeconomy, Roma, Italy.

<sup>2</sup> Almaviva S.p.A. – Agriculture and Environment Practice, Roma, Italy.

\* flavio.lupia@crea.gov.it

### Abstract

The Rural Development Framework is supporting farmers in areas affected by natural constraints (i.e. climate, morphology and soil) to counterbalance negative phenomena such as land abandonment, desertification, etc..

The designation of the new Areas with Natural Constraints (ANCs) is being carried out by EU Member States (Reg. (EU) No. 1305/2013). Three biophysical criteria (Climate, Soil and Terrain) are used followed by a fine-tuning process with indicators to assess whether constraints in a given area influence or not agricultural production. Indications on the procedures are given through guidelines prepared by European Commission's Joint Research Centre.

We report on the Italian approach to delineate ANCs with the sole climatic constraint expressed by the three criteria: Dryness, Length of growing period and Thermal-time sum. Climatic criteria are calculated on a 10 km grid by spatializing daily meteorological time series from 1981 to 2010 stored in the National Agricultural Information System (SIAN). Then, criteria are downscaled to a finer grid (500 m) to be reported over agricultural areas located within municipalities.

### Keywords

Areas with natural constraints, ANCs, agriculture, biophysical criteria, agro-meteorological data

### Parole chiave

Aree con vincoli naturali, ANC, agricoltura, criteri biofisici, dati agrometeorologici

### Introduction

The regime of the less-favoured areas is an important component of the Common Agricultural Policy, which aims to compensate the natural disparities among the different agricultural regions of the European Union. It is a useful support tool that provides a compensatory allowance to incentivize agricultural activities in mountainous and/or less developed areas subject to depopulation.

In the previous programming period (2007-2013), the resources provided for this purpose, at community level, amount to 15.2 billion euro, about 16% of the total expenditure disbursed by the European Agricultural Fund for Rural Development.

The rural development regulation in force in the current programming phase (2014-2020), without prejudice to the definition of the other categories of disadvantaged areas, has put on the agenda the revision process of the intermediate areas, perfecting the model to be followed for the delimitation of the areas called "Areas with Natural Constraints" (ANCs).

The reform is based on objective and homogeneous parameters of a biophysical nature, referring to climate, soil and morphology, and are defined in the context of Annex III of the EU regulation n. 1305/2013 with the scientific support of the European Commission's Joint Research Centre (JRC) and experts from each Member State.

In the following sections we report the Italian approach for the computation of one of the biophysical criteria, climate, by using the available national datasets and following the guidelines prepared by JRC.

### Materials and Methods

#### Definition of climatic criteria

Area with Natural Constraints (ANCs) due to climatic conditions were defined by computing three distinct criteria: Dryness (DRY), Length of growing period (LGP) and Thermal-time sum (THS), according to the specific definitions reported in the JRC guidelines (Terres *et al.*, 2016). Criteria are related to basic climatic characteristics deemed relevant to identify agricultural suitable lands for the European territory. Scientific grounds are related to the "problem-land approach" (FAO, 1990) where thresholds for each criterion are defined by literature and expert's judgement. Climatic criteria are considered in terms of probability of exceedance by 20% of the established thresholds to overcome any issue related to inter-annual variation of the length of the growing season.

DRY is a limiting factor for crops when water availability is reduced by low precipitation and high evaporation. The ratio between the annual precipitation (P) and the potential evapotranspiration (PET) is computed to set a threshold for the severely limiting dryness condition:  $P/PET \leq 0.5$ .

LGP and THS are the criteria to assess the low temperature limitation for European agriculture due to the expected impacts on the normal crop development.

LGP is defined by the number of days having daily average temperature greater than 5°C.

THS, in degree-days (°Cd), is computed for the growing period and defined by accumulated daily average temperature greater than 5°C.

Low temperature is a strong constraint to crop development when one of the above criteria exceed the established thresholds:  $LGP \leq 180$  days;  $THS \leq 1500$ °Cd.

Constrained areas are identified by computing each criterion for every year in the time series and by verifying whether the number of years exceed the 20% of the time series.

#### Dataset of meteorological variables

The meteorological variables required to compute climatic criteria were extracted from the National Agricultural Information System (SIAN). Temperature and precipitations were available as gridded daily time series for the period 1981-2010 for 3193 regular cells of 10 km covering the Italian territory (Rete Rurale Nazionale, 2018). Daily values of PET were computed for each cell with the Penman-Monteith equation.

The length of the time series follows the World Meteorological Organisation recommendations to minimise inter-annual variations and anomalies.

Gridded data result from the processing of measured daily meteorological variables belonging to different meteorological networks (nationals and regionals) with an average of 107 active stations between 1981 and 2010. Data validation was performed by SIAN through statistical algorithms (i.e. values checking against the climatic mean of the station, the time period and measures from nearby stations).

Daily measurements from the active stations were used for the geostatistical estimate of the values for each one of the 3193 cells. Ordinary Kriging (Cressie, 1989) was applied to estimate the total daily precipitation while non-stationary Cokriging with external drift (Chilés e Delfiner 1999) was used to compute variables showing geographical trends (i.e. maximum and minimum temperature, humidity, and wind speed). Cokriging allowed to estimate meteorological variables coherently with daily extreme values (e.g. minimum temperature must be less than maximum temperature) and to improve the estimation (i.e. when one of the two temperature values was missing). The use of Cokriging enabled the integration of the daily measured data observed with another dataset reproducing the main physical laws, which explain the spatio-temporal dynamics of atmosphere, physiography and morphology. This dataset is known with good precision overall Italian territory. It represents the deterministic component of the meteorological field from which the spatial gradients of the meteorological variables are derived. The external drift defined on the 3193 grid cells is elaborated by the DALAM

hydrostatic meteorological model (Data Assimilation Limited Area Model).

The spatial structure of the meteorological variables (variograms) was detected using the daily data observed from 1981 to 2010. Variograms modelling was performed at monthly level for two geographical areas:

- Northern Italy – variograms were computed for the geographical directions E-W, NE-SW, N-S and SE-NW, with the EW coincident with the orientation of Padana Plain and Alps);
- Central-Southern Italy – variograms were calculated for the geographical directions EW 40°, EW 85°, EW 130° and EW 175°, where EW 130° coincide with the Apennines orientation.

Assessment of the accuracy of the geostatistical estimators was carried out by using an independent dataset of 83 meteorological station having a uniform distribution across Italy (Esposito *et al.*, 2015). Daily meteorological values from the independent stations were compared with the estimated values of the grid cells containing the corresponding stations (external validation). Statistical indicators were used to assess the accuracy: MAE (mean absolute error) and CRM (coefficient of residual mass). MAE resulted in a mean error of  $\pm 2$ °C for the estimated maximum and minimum daily temperature and  $\pm 2.4$  mm for the total daily precipitation. CRM indicated a slight underestimation of the maximum daily temperatures and an overestimation of daily minimum temperatures. These errors tend to be compensated when the mean daily temperature is computed.

#### Computation of climatic criteria

The estimated meteorological time series were used to calculate the gridded climatic criteria. For each cell, the frequency of occurrence of the three criteria was calculated as percentage of unfavourable years over the total number of years. Cells resulting with a percentage greater than 20% were classified constrained by the corresponding criterion with a binary system (1: constrained; 0: not constrained).

Agricultural areas were localized on a 500 m (25 ha) grid with the AGRIT program dataset, the point spatial sampling survey used to estimate Italian agricultural land use statistics. Land use data were sampled on orthophotos at 1:10,000 scale (AGEA Refresh project). Grid cells are compatible with the size of agricultural areas and the spatial extent of administrative units (municipalities). In fact, the grid has 1,206,000 cells covering the 8,046 Italian municipalities.

Climatic criteria were finally reported on the agricultural areas by downscaling data from the 10 km to the 500 m grid. The finer grid allows to report, on average, climatic criteria with 150 cells per municipality. Differences in temperature and precipitation over distances less than 500 m are generally negligible in Italian agricultural areas since their modelling is not possible by a meteorological network whose average distance between stations is greater than 10 km.



## Results and Discussion

Figure 1 depicts the distribution of 500 m grid cells with agricultural areas constrained by the three climatic criteria. Cells are overlaid over the administrative boundaries of the municipalities. Constrained areas by climatic criteria are clearly concentrated within the two latitudinal extremes.

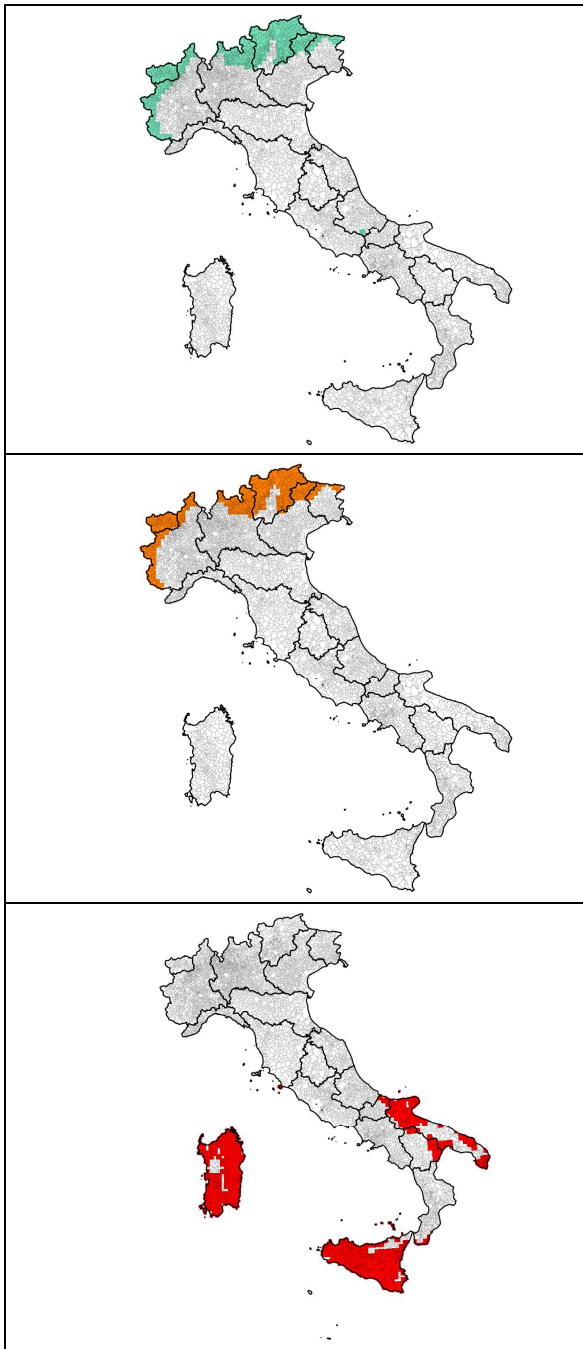


Fig.1 – Grid cells (500 m) affected by the three climatic constraints superimposed over municipalities boundaries. From top to bottom: Thermal-time sum (THS), Length of growing period (LGP) and Dryness (DRY).

Fig. 1: Rappresentazione dei tre vincoli climatici con la griglia a 500 m sovrapposta sui confini comunali. Dall'alto in basso: Tempo termico totale (THS); Durata del periodo vegetativo (LGP) e Siccità (DRY)

Northern mountainous areas are affected by the low temperature criteria (LGP and THS). On the other hand, as expected, Southern regions undergo limitations for agriculture mainly determined by dryness conditions (DRY).

## Conclusions

The recent European regulation has laid down that areas affected by natural constraints for agriculture (ANCs) need to be delimited by Member States with biophysical criteria. Our paper describe the Italian approach followed for the computation of one of the criteria: climate. Results of the effect of the climatic constraints for agriculture are reported at grid level and mapped.

Next steps are in progress and will provide the delimitation of ANCs based on the remaining criteria: soil and terrain slope.

Final classification will integrate the tree criteria and will classify municipalities as ANC if the relative agricultural area is affected at least by a single criterion for a share greater or equal to 60%. Later on ANCs determined by biophysical criteria will be revised by a further process named “fine-tuning” where additional criteria are considered. With this final step, it will be assessed, at municipality level, whether natural constraints, which ANCs support aims to compensate, have been offset by human intervention and/or technical progress.

## References

- Commissione Europea, 2013. Regolamento (UE) n. 1305/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 dicembre 2013, sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR) e che abroga il regolamento (CE) n. 1698/2005 del Consiglio. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32013R1305>
- Chiles, J., Delfiner, P., 1999. Geostatistics: modeling spatial uncertainty. John Wiley & Sons, New York.
- Cressie, N. (1988). Spatial prediction and ordinary kriging. *Mathematical geology*, 20(4), 405-421.
- FAO, 1990. Problem soils of Asia and the Pacific. RAPA report 1990/6. FAO/RAPA Bangkok. 283 pp.
- Esposito S., Beltrano M. C., De Natale F., Di Giuseppe E., Iafra L., Libertà A., Parisse B. e 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.
- Terres J. M., Toth T., Wania A., Hagyo A., Koebler R., Nisini L., 2016. Updated Guidelines for Applying Common Criteria to Identify Agricultural Areas with Natural Constraints, EUR 27950. DOI:10.2788/130243

Rete Rurale Nazionale, 2018. Dati agroclimatici non aggregati 1981-2010. Available at: <https://www.reterurale.it/Datiagroclimaticinonaggregati>

#### **Acknowledgements**

This study was supported by the Programma Rete Rurale Nazionale 2014-2020 – Piano Biennale 2017/2018 – Scheda progetto 18.1.

# MICROCLIMATIC, PHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE EFFECT OF THE OVERCANOPY IRRIGATION MANAGEMENT IN AN APPLE ORCHARD

## IRRIGAZIONE CLIMATIZZANTE SU MELO: STUDIO DEGLI EFFETTI MICROCLIMATICI, FISILOGICI E PRODUTTIVI

Luigi Manfrini<sup>1\*</sup>, Giacomo Gatti<sup>1</sup>, Domenico Solimando<sup>2</sup>, Tommaso Letterio<sup>2</sup>, Brunella Morandi<sup>1</sup>, Luca Corelli Grappadelli<sup>1</sup>, Gianmarco Bortolotti<sup>1</sup>, Slaven Tadić<sup>1</sup>, Federica Rossi<sup>3</sup>, Osvaldo Facini<sup>3</sup>, Camilla Chieco<sup>3</sup>, M. Gerin<sup>4</sup> e Stefano Anconelli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DISTAL - Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna, V. le Fanin 44, 40127 Bologna (BO)

<sup>2</sup>CER-Canale Emiliano Romagnolo, Via Masi 8, 40137, Bologna (BO)

<sup>3</sup>CNR-IBIMET - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Gobetti 111, 40129, Bologna (BO)

<sup>4</sup>Società Agricola Vivai Mazzoni, Via del Mare 4, 44039 Tresigallo (FE)

\* luigi.manfrini@unibo.it

### Abstract

To test the efficacy and sustainability of evaporative cooling, four blocks of a commercial Fuji Apple orchard in Medelana (Ferrara, Italy) were subjected to two irrigation regimes: drip irrigation alone (DRI) or, between July and August (the hottest period of the year), supplemented by overcanopy irrigation (OCI). Stem/leaf water potential, leaf gas exchange and leaf fluorescence measurements were performed the day before, soon after and the day after OCI, twice along the growing season. Daily fruit growth, leaf and fruit temperature and microclimatic parameters within the blocks were monitored for the entire experiment. No difference was found in leaf/stem water potentials, leaf fluorescence or leaf gas exchanges the day prior and after OCI. Photosynthesis, transpiration and stomatal conductance were improved on the OCI day. Also, fruit growth increased only on the OCI day, with higher rates all day long, but no further effects in the following days. Leaf, fruit temperature and microclimatic measurements within the blocks were only affected during OCI. Yield data show no difference between the two irrigation regimes. OCI in the environment tested affects tree performance only during application and a few hours afterwards. This management practice reduces water use efficiency resulting in more water applied per ton of fruit, likely a result related to the hot and humid climate of the Ferrara province.

### Parole chiave

Fisiologia della pianta e del frutto, Irrigazione soprachioma, melo

### Keywords

Tree and fruit physiology, overcanopy irrigation, apple

### Introduzione

Negli ultimi anni, in seguito al cambiamento climatico in atto, le stagioni irrigue sono state spesso pesantemente condizionate da situazioni meteorologiche estremamente calde e siccitose, che hanno in parte compromesso le produzioni del settore frutticolo, specie quelle sostenute da impianti irrigui a goccia inadeguati, con notevoli riduzioni di resa dovute a “colpi di calore”, e quindi a scarsa pezzatura e conservabilità dei frutti. I valori di evapotraspirazione hanno spesso superato i 6-7 mm/giorno, rispetto ai 4-5 mm del decennio precedente, con la conseguente necessità di un aumento dei volumi irrigui stagionali.

Gli impianti microirrigui dimensionati per le esigenze irrigue del passato, potrebbero perciò risultare insufficienti a compensare gli attuali picchi di evaporato giornaliero: la parziale restituzione dei consumi, specie nel bimestre luglio-agosto, nel quale si registra il massimo accrescimento dei frutti, può dunque portare ad un prodotto di scarsa pezzatura.

Per contrastare le ondate di calore si è assistito spesso ad un uso improprio degli impianti irrigui: la prolungata assenza di precipitazioni e la necessità di continui apporti irrigui localizzati con l'irrigazione a goccia, può provocare, in

taluni casi, all'eccessiva compattezza del terreno (e aumento della salinità in presenza di fertirrigazione) nella zona umettata con la micro-irrigazione.

Molti hanno raddoppiato le linee microirrigue, altri hanno adottato irrigatori semoventi (rotoloni), o impianti fissi a pioggia, ma senza corretti criteri di intervento, con un conseguente uso poco efficiente dell'acqua di irrigazione.

Alle luce delle crescenti difficoltà che incontrano gli agricoltori del comparto frutticolo, si è costituito un Gruppo Operativo (GO) finanziato dalla misura 16 del PSR 2014-2020 della regione Emilia-Romagna, con l'obiettivo generale di razionalizzare i sistemi irrigui sulle colture arboree, come adattamento ai cambiamenti climatici, affrontando tra gli altri il tema del contrasto alle ondate di calore, per mettere a punto le soluzioni più sostenibili per gli impianti climatizzanti, in grado di garantire prodotti di qualità con il minor impiego e l'efficientamento dell'acqua irrigua.

Il problema della climatizzazione dei frutteti con impianti irrigui soprachioma è stato affrontato in una attività finalizzata ad una verifica a pieno campo dell'uso razionale dell'impianto climatizzante nei frutteti.

Punto fondamentale sono i tre possibili approcci per ridurre la temperatura ambientale nel frutteto: i) climatizzazione

tramite convezione (o convective cooling): si ottiene tramite la dispersione all'interno del frutteto di minuscole gocce di acqua (nebbiolina) cosiddetta fogging system; queste, trovandosi soggette sia alla radiazione solare che alla temperatura dell'aria, sottrarranno calore all'atmosfera passando allo stato gassoso e abbassandone la temperatura; ii) climatizzazione tramite dilavamento (hydro cooling): si ottiene disperdendo l'acqua direttamente sulla pianta tramite irrigazione sovrachioma; non avviene alcun passaggio di stato ma l'acqua allo stato liquido a contatto con la vegetazione è comunque in grado di sottrarre calore innalzando la propria temperatura prima di cadere al suolo; iii) climatizzazione tramite evaporazione (evaporative cooling): si ottiene tramite la dispersione di acqua sulla vegetazione; a differenza del sistema precedente l'acqua sottrae calore sensibile dalla pianta per passare dallo stato liquido a quello gassoso (calore latente).

La climatizzazione del frutteto tramite la dispersione di acqua sfrutta, una combinazione di questi tre processi dei quali, spesso, solo uno è quello dominante a seconda dei sistemi impiegati.

### Materiali e Metodi

La prova è stata svolta nel corso dell'estate 2017 a Medelana (Fe) all'interno della azienda agricola "La Giorgia" (gruppo Mazzoni), un frutteto commerciale composto da meli di varietà fuji "Fujico", impiantato nel 2015, con densità 3,5 x 1,2 m ed allevato a Bibaum®. L'impianto è dotato di un doppio sistema di irrigazione: il primo, per gli interventi ordinari, è ad ala gocciolante con emitters posizionati a 40 cm l'uno dall'altro sulla fila (portata: 1,6 mm/h); il secondo, per interventi straordinari, finalizzati all'irrigazione antigelo invernale ed a quella climatizzante estiva, è ad aspersione sovrachioma con densità di impianto 16,8 x 17,5 m (portata 4,5 mm/h). L'intero impianto è coperto da rete antigrandine di colore nero con coefficiente di ombreggiamento del 20%.

Relativamente alle prove ecofisiologiche (potenziale idrico, scambi gassosi, microclima, crescita del frutto, temperatura fogliare e dei frutti) all'interno del frutteto sono state individuate due parcelle appartenenti allo stesso filare posizionate a congrua distanza: la prima irrigata sovrachioma e ad ala gocciolante, mentre la seconda unicamente ad ala gocciolante. Per ovviare all'evidente potenziale disparità di volume irriguo tra i due trattamenti, al controllo è stata aggiunta una seconda ala gocciolante. Il volume irriguo settimanale per la parcella "tesi", considerati due ipotetici interventi climatizzanti, è di 30 mm mentre per il "controllo" di 21 mm; una riduzione del 30% per la parcella "controllo" rispetto alla parcella "tesi" è stata apportata in quanto l'acqua aspersa sovrachioma non è in toto disponibile per le radici.

Per quanto riguarda le prove inerenti alla produzione ed alla qualità, all'interno delle due parcelle sopracitate sono state individuate due sub-parcelle composte da tre campioni (tre piante) ciascuna per un totale di quattro sub-parcelle.

La cadenza degli interventi climatizzanti, la loro durata e l'orario di attivazione dell'impianto sono stati decisi dalla

direzione aziendale sulla base delle indicazioni del bilancio idrico di Irriframe del CER. Nel corso della stagione l'impianto di irrigazione sovrachioma è stato attivato undici volte, ogniqualvolta le temperature giornaliere hanno superato per alcuni giorni la soglia dei 33°C, con volumi di intervento variabili da 18 a 45 mm (da 4 fino a 10 ore di durata, da metà mattina in poi). I volumi irrigui stagionali sono stati di 383,5 mm per il controllo non climatizzato e di 458,1 con il doppio impianto (ala gocciolante e irrigazione climatizzante sovrachioma).

Ogni parcella ha ospitato quattro campioni, rappresentati da una pianta ciascuno. All'interno di ogni parcella sono stati posizionati, a differenti altezze all'interno della chioma (50 cm, 150 cm, 250 cm dal suolo), tre termo-igrometri in grado di rilevare i valori di temperatura e umidità mentre una centralina posizionata al di fuori del frutteto è stata impiegata per registrare i dati ambientali relativi a temperatura, umidità, irraggiamento, velocità e direzione del vento e pluviometria. All'interno di ogni campione sono stati identificati due frutti e su di essi montati dispositivi di monitoraggio in continuo del diametro, per un totale di otto frutti monitorati per parcella. Inoltre, il gruppo CNR-IBIMET ha monitorato, in continuo nel corso della stagione vegetativa, le temperature di foglie e frutti (Fig. 2A e 2B) appartenenti ai medesimi campioni tramite l'installazione di termocoppie (poste sia su frutti e foglie esposti ad est che ad ovest) collegate a centraline di registrazione. I dati ambientali rilevati dalla centralina meteo, quelli microclimatici provenienti dai termo-igrometri e quelli relativi alle variazioni in diametro dei frutti sono stati salvati automaticamente ed immessi online tramite un sistema Wi-Net (Wi-Net s.r.l., Cesena, Italia).



Figura 2. Particolare delle termocoppie poste su frutto (A), su foglia (B), dello strumento di misura degli scambi gassosi fogliari (C) e del sensore di misura precisa di crescita del frutto (D).

Figure 2. Detail of the thermocouples placed on fruit (A), on leaf (B), of the leaf gas exchange instrument (C) and of the fruit gauge sensor (D).

Questo è costituito da un nodo coordinatore, al quale è collegata la centralina meteo, in grado di ricevere i dati dai due nodi sottoposti (uno per ogni parcella) e di renderli disponibili ad un indirizzo dedicato tramite connessione GPRS.

Nel corso di cinque giornate sono state effettuati rilevamenti aggiuntivi relativi allo status idrico dei campioni nelle diverse parcelle e agli scambi gassosi. Il primo di questi (11 luglio 2017) è servito per identificare eventuali difformità tra le due parcelle in assenza di trattamenti climatizzanti mentre gli altri quattro (20 e 21 luglio, 9 e 10 agosto) per monitorare le differenze in termini di status idrico e di scambi gassosi tra le parcelle un'ora dopo (20 luglio e 9 agosto) ed il giorno successivo (21 luglio e 10 agosto) rispetto alla fine dell'intervento climatizzante.

Alla raccolta, parametri qualitativi quali la resa e la presenza di danni da sunburn sono stati raccolti dal gruppo tecnico dell'azienda Mazzoni mentre la colorazione è stata valutata successivamente all'interno dei laboratori della Scuola di Agraria e Medicina Veterinaria presso Cadriano (Bologna).

La rilevazione delle variazioni in diametro dei frutti è stata svolta grazie all'impiego dello strumento proposto da Morandi, et al. (2007). Tale dispositivo, simile ad un calibro, può essere applicato al frutto senza causarne il distacco ed è in grado di misurarne le variazioni in diametro, in continuo, dalla allegazione alla raccolta. Nel corso della prova sono stati monitorati due frutti per campione per un totale di otto frutti per il controllo e altrettanti per la tesi (Fig. 2D).

La rilevazione degli scambi gassosi fogliari è stata effettuata tramite un LI-COR 6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA, Fig. 2E). Nel corso della sperimentazione, in ogni giornata è stata analizzata una foglia adulta per ogni campione (la quinta dall'apice vegetativo nel germoglio dell'anno) e sono state osservate le seguenti impostazioni: i) flusso d'aria: 300 mol (aria) s<sup>-1</sup>; ii) concentrazione CO<sub>2</sub>: 400 ppm; iii) umidità all'interno della camera di rilevamento pari a quella ambientale; iv) Irradianza dei LED (PAR espressa in PPF): 1600 μmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>.

Lo status idrico delle piante sottoposte ai due differenti trattamenti (controllo e tesi) è stato rilevato tramite una camera a pressione di Scholander (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, USA). L'analisi dello status idrico delle piante si è basata sulla misura del potenziale fogliare (relativo a foglie attive, adulte e ben esposte alla luce) e del potenziale del fusto (relativo a foglie interne alla chioma, in prossimità del fusto o della branca principale, poste in equilibrio con esso, come precedentemente descritto, per 45 minuti prima della rilevazione). Per ogni campione (5 per trattamento) è stato raccolto un dato di potenziale fogliare ed un dato di potenziale del fusto per ogni giornata di analisi.

L'analisi relativa alla colorazione dei frutti e finalizzata alla successiva comparazione fra controllo e tesi è stata effettuata grazie all'impiego di un Minolta Chroma Meter (CR-400, Minolta, Ramsey, USA).

Le variabili microclimatiche, essendo presente solo una ripetizione per ogni trattamento sono state valutate attraverso le correlazioni tra i differenti trattamenti valutandone le variazioni visivamente attraverso raffronti in grafici.

I dati di scambi gassosi a livello fogliare, i potenziali idrici i dati produttivi e qualitativi sono stati sottoposti ad un'analisi ANOVA ad una via con α= 0.05. È stato inoltre effettuato un test SNK per la separazione delle medie.

## Risultati e Discussione

Le attività sono state svolte nell'estate 2017, caratterizzata da un trimestre giugno-agosto con pochissimi eventi piovosi (meno di 70 mm complessivi di precipitazioni), con valori di evaporazione giornaliera intorno ai 6 mm/giorno, con punte fino a 7-8 (Fig. 1).

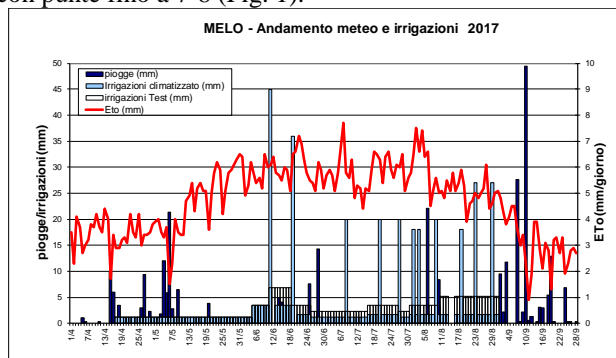


Figura 1. Piogge, evapotraspirazione giornaliera e irrigazioni nel meleto.

Figure 1. Apple orchard rainfall, daily evapotranspiration and irrigation.

Le temperature massime giornaliere hanno spesso superato i 35 °C per diverse giornate consecutive nelle mensilità di luglio e agosto; il sistema di irrigazione soprachioma è stato pertanto attivato 11 volte lungo la stagione produttiva, quando le temperature giornaliere hanno superato per alcuni

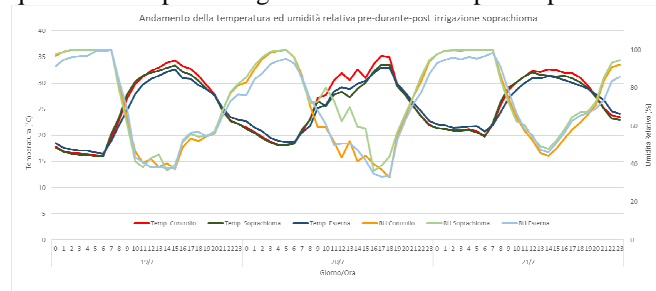


Figura 3. Andamento delle temperature e dell'umidità relativa dell'aria misurate nella zona climatizzata, nel controllo e all'esterno del meleto nelle 24 ore del giorno precedente, del giorno dell'irrigazione e in quello successivo al trattamento climatizzante soprachioma.

Figure 3. Temperature and relative humidity trend of the air measured in the overcanopy treatment, in the control and outside of the apple orchard in the 24 hours of the previous day, of the day of irrigation and in the one after the overcanopy treatment.



giorni consecutivi la soglia dei 33°C (Fig. 1), con volumi di intervento variabili da 18 a 45 mm (da 4 fino a 10 ore di durata).

I volumi irrigui stagionali sono stati pari a 383.5 mm a goccia per il controllo non climatizzato e 458.1 con il doppio impianto. Complessivamente il trattamento climatizzate ha ricevuto il 19.5% in più di volumi irrigui stagionali rispetto al controllo irrigati solo a goccia.

Le centraline di registrazione dati dotate di sensori (termocoppie) per il monitoraggio degli andamenti di temperatura delle foglie (Fig. 2A) e dei frutti (Fig. 2B) per l'intera stagione produttiva consentendo di monitorare prima, durante e dopo l'effetto dell'intervento irriguo climatizzante.

Allo stesso modo sono state contemporaneamente monitorati gli andamenti di temperatura e umidità ambientali, l'accrescimento dei frutti (fig. 2C), gli scambi gassosi fogliari ed i potenziali idrici al fine di valutare gli eventuali effetti positivi e la loro durata sulle performance fotosintetiche della chioma e di crescita dei frutti. Alla raccolta è stato valutato dal gruppo tecnico dell'azienda Mazzoni l'effetto del metodo irriguo sulla produttività e, per la specie melo, alcuni parametri relativi alla qualità dei frutti (Tab. 1).

Tabella 1. Produzione e parametri qualitativi valutati nel meleto commerciale di Medelana (Az. Mazzoni).

Table 1. Production and qualitative parameters assessed in the commercial apple orchard of Medelana (Az. Mazzoni).

Melo	Numero frutti pianta	Pezzatura a media (g)	Produzione (t/ha)	Prima Cat. (<di 70 mm) (Kg/pianta)	Scolorito (Kg/pianta)	Assolato (Kg/pianta)
Controllo	60.8	257.2 3	37.21	6.68	4.00	1.68
Soprachioma	61.5	281.6 9	40.98	6.59	5.80	0.81

Tabella 2. Scambi gassosi a livello fogliare; i dati sono espressi come: fotosintesi ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), conduttanza stomatica ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), traspirazione fogliare ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e potenziale idrico del fusto (Mpa).

Table 2. Leaf gas exchange expressed as photosynthesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), stomatal conductance ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), leaf transpiration ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) and stem water potential (Mpa).

	MELO	11 luglio (prima dell'irrigazione)	20 luglio (giorno irrigazione)	21 luglio (giorno successivo all'irrigazione)
Fotosintesi ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Controllo	18.6	5.1	20.3
	Soprachioma	19.2	12.8	21.3
Conduttanza ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Controllo	0.21	0.22	0.24
	Soprachioma	0.26	0.26	0.27
Traspirazione ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Controllo	9.7	6.8	10.6
	Soprachioma	11.2	7.7	11.3
Potenziale idrico del fusto (Mpa)	Controllo	-1.42	-0.87	-1.38
	Soprachioma	-1.52	-0.71	-1.29

I principali aspetti riscontrati nello svolgimento di questo studio possono essere riassunti nei seguenti punti:

- è stato verificato che la climatizzazione porta ad un cambiamento microclimatico, con un calo di temperatura e aumento di umidità dell'aria (Fig. 3), che favorisce una maggior attività fotosintetica non statisticamente significativa e un maggior accrescimento del frutto nel periodo corrispondente all'intervento irriguo (Fig. 5).

- l'effetto della climatizzazione risulta essere tuttavia limitato nel tempo e grosse variazioni delle temperature delle foglie e dei frutti sono state verificate nella sola giornata dell'intervento, protraendosi al massimo per alcune ore dopo la fine dell'irrigazione (fig. 4); le termocoppie posizionate sui frutti e sulle foglie infatti non evidenziano, in condizioni di giornate molto simili (sommatoria termica pressoché uguale) alcuna differenza nell'andamento giornaliero precedente e successivo all'intervento irriguo soprachioma. Solo per la crescita del frutto si individuano effetti residui positivi ma non prolungati (fig. 5), come dimostrano le produzioni a fine stagione (Tab. 1) dove i trattamenti irrigati soprachioma non si discostano dal controllo non climatizzato. Si osserva però una riduzione dei fenomeni di eccessi di calore nel melo, dove i quantitativi di frutti con presenza di scottature risultano inferiori nella tesi climatizzata, ma nessun effetto significativo sulla colorazione dei frutti (Tab. 1).

- gli incrementi dei volumi irrigui restituiti nei trattamenti climatizzati non hanno indotto incrementi di produzione. La pezzatura media nel controllo è risultata inferiore, ma in misura statisticamente non significativa (Tab. 1).

- il tasso di crescita del frutto, per meccanismi ancora da chiarire completamente, risulta molto incrementata non appena l'irrigazione climatizzante viene attivata (Fig. 5). Tale aumento nel tasso di crescita assoluto (AGR, g/giorno) decresce nelle ore successive alla fine dell'irrigazione soprachioma e, probabilmente per maggiori quantitativi di acqua residui nel frutteto, viene mantenuta nelle ore pomeridiane e notturne del giorno successivo (Fig. 5). Tale incremento non ha però, come già sottolineato, incrementato le rese produttive a fine stagione.

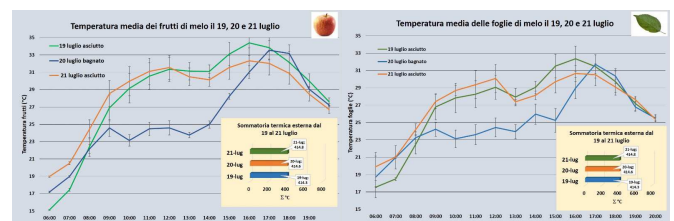


Figura 4. Andamento delle temperature misurate su frutto (sinistra) e foglia (destra) nelle 24 ore del giorno precedente, del giorno dell'irrigazione e in quello successivo al trattamento climatizzante soprachioma. Figure 4. Fruit (left) and leaf (right) temperature trends measured on the in the 24 hours of the previous day, the day of irrigation and in the one after the overcanopy treatment.

Non è stata inoltre evidenziata alcuna differenza statistica sia nelle misure dei potenziali idrici del fusto che degli scambi gassosi. È comunque opportuno sottolineare che nel giorno della climatizzazione le piante di controllo, sebbene in misura non statisticamente differente, ha evidenziato valori di fotosintesi in media più ridotta.

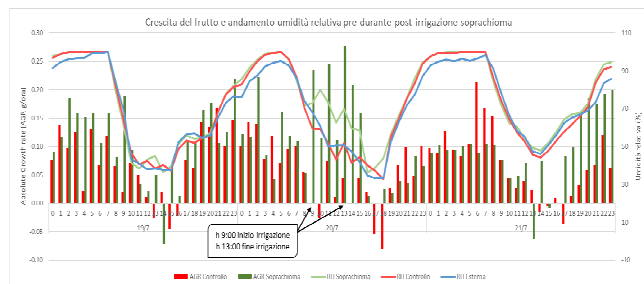


Figura 5. Rappresentazione della crescita del frutto (grammi accumulati per ora) ed andamento dell'umidità relativa nelle 24 ore nel giorno precedente, del giorno dell'irrigazione e in quello successivo al trattamento climatizzante soprachioma.

Figure 5. Representation of the fruit growth (grams accumulated per hour) and relative humidity trend in the 24 hours on the previous day, of the day of irrigation and in the one after the overcanopy treatment.

## Conclusioni

L'attività sperimentale di campo verrà replicata anche nella stagione 2018 al fine di meglio comprendere i meccanismi fisiologici e produttivi di adattamento alla tecnica irrigua di climatizzazione soprachioma. Tale pratica non ha, infatti, per ora chiarito alcuni aspetti legati alle rese e alla qualità delle produzioni, restituendo risultati non del tutto soddisfacenti, pur con una stagione 2017 particolarmente critica. L'irrigazione climatizzante soprachioma sembra una

tecnica interessante per favorire la produzione in zone caldo-aride (Evans, 1993; Lakatos, 2016). I primi risultati sembrerebbero mostrare che nell'areale ferrarese, con clima è caldo-umido (di notte l'umidità dell'aria è spesso vicina al 100% aiutando il riequilibrio dello stato idrico delle piante, es. Fig. 3), questa tecnica risulta una pratica meno sostenibile, sia in termini economici sia di risparmio idrico. Sulla base dei risultati del progetto verranno redatte le "Linee Guida per la Climatizzazione dei Frutteti" (temperature di allarme, corretto timing delle irrigazioni in funzione delle tipologie di irrigatori impiegati, tipologie più efficaci nel raffreddamento degli organi della pianta).

## Bibliografia

- Morandi, B. et al., 2007. A Low-cost Device for Accurate and Continuous Measurements of Fruit Diameter. American Society for Horticultural Science, pp. 1380-1382.
- Evans, R.G., 1993. Over tree evaporative cooling system design and operation for apples in the PNW. Good Fruit Grow. Yakima, WA 44, 23-27.
- Lakatos, L. 2016. The role of water in microclimate manipulation in orchards. Aerul și Apa: Componente ale Mediului, (8), 416-423.

## Ringraziamenti

"Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di sviluppo rurale 2014-2020 – Tipo di operazione 16.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per l'innovazione: "produttività e sostenibilità dell'agricoltura" – Focus Area 5A. – Progetto 5004775 "Razionalizzazione dei sistemi irrigui sulle colture arboree in risposta ai cambiamenti climatici".

# OLIVES' THERMAL VARIABILITY: A PRELIMINARY STUDY IN VAL D'ORCIA (TUSCANY)

## VARIABILITA' TERMICA DELLE OLIVE: UNO STUDIO PRELIMINARE IN VAL D'ORCIA (TOSCANA)

Martina Petralli<sup>1,2\*</sup>, Ada Baldi<sup>1</sup>, Giada Brandani<sup>1,3</sup>, Carolina Fabbri<sup>3</sup>, Stefano Cecchi<sup>3</sup>, Roberto Vivoli<sup>1</sup>, Leonardo Verdi<sup>1</sup>, Anna Dalla Marta<sup>1</sup>, Marco Mancini<sup>1</sup>, Simone Orlandini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DISPAA - Department of Agrifood Production and Environmental Sciences – University of Florence

<sup>2</sup> CIBIC – Centro of Bioclimatology – University of Florence

<sup>3</sup> FCS – Fondazione per il Clima e la Sostenibilità

\* [martina.petralli@unifi.it](mailto:martina.petralli@unifi.it)

### Abstract

Air temperature has a determinant role both in olive pathogens attacks, and in olives and oil quality. Some studies have highlighted the thermal variability of olive groves or individual canopies of olive trees. This study aims to analyze the variability of the temperature of the olive pulp according to air temperature and of olive orientation inside the canopy. The hypothesis underlying this investigation is that there may be a relationship between this parameter and the attack of some pathogenic insects, and in particular the olive fly (*Bactrocera oleae* Gmelin), a very harmful and increasingly widespread olive pathogen. For this purpose, the temperature of the olive pulp was monitored from hardening of the core to harvesting in 5 olive groves in Val d'Orcia (Tuscany). For each monitored plant, 5 sensors were positioned: 1 for air temperature and 4 for olive pulp temperature located according to cardinal points. The results showed differences between the temperatures of the pulp of the olives and those of the air during the day, especially on days with high solar radiation and low wind. Olive position in the canopy is linked to olive pulp temperature.

### Parole chiave:

Temperature della polpa delle olive; microclima; orientamento delle olive; temperatura dell'aria; *Bactrocera oleae*

### Keywords:

Olive pulp temperature; microclimate, olive orientation, air temperature, *Bactrocera oleae*

### Introduzione

La temperatura dell'aria è un parametro determinante per la limitazione o lo sviluppo di patogeni dell'olivo, oltre a essere correlata con alcuni fattori che determinano la qualità delle olive e dell'olio. Alcuni studi hanno evidenziato la variabilità termica degli oliveti o delle singole chiome delle piante di olivo.

Numerosi studi hanno evidenziato la presenza di una forte variabilità termica all'interno dell'oliveto dovuta a caratteristiche macroscopiche, come l'estensione dell'oliveto, la sua pendenza e l'esposizione, e alla scelta del punto di monitoraggio che può risultare decisiva (Daane et al, 2011; Wang et al, 2009). Oltre alla variabilità dell'aria all'interno dell'oliveto, ci possono essere variazioni significative anche nella temperatura delle singole chiome (Berni et al, 2009). La differenza di temperatura nella chioma può quindi essere un fattore limitante o preferenziale per l'attacco o l'incidenza di alcune patologie. Dalla letteratura scientifica si evince, ad esempio, che la mosca delle olive (*Bactrocera oleae* Gmelin) tende ad iniziare l'attacco nella parte Sud/Sud-Ovest della chioma (Trentacoste et al, 2015): questo può forse essere legato proprio alla temperatura che possono avere le olive in questa parte della chioma. Sono pochissimi gli studi ritrovabili nella letteratura scientifica nazionale ed internazionale che hanno studiato questo parametro (Orlandini et al, 2005), anche se alcuni autori hanno

suggerito che le dinamiche locali di temperatura negli oliveti potrebbero avere importanti effetti sulla distribuzione, l'incidenza e l'intensità dell'attacco della mosca (Ordano et al, 2015). Inoltre, il microclima della chioma ha anche effetti sulla distribuzione della quantità delle drupe, della loro dimensione e della concentrazione di olio (Connor et al, 2016).

Questo studio vuole analizzare la variabilità della temperatura della polpa delle olive al variare della temperatura dell'aria e dell'esposizione delle olive. L'ipotesi alla base di questa indagine è che ci possa essere una relazione tra questo parametro e l'attacco di alcuni insetti patogeni, ed in particolare della mosca delle olive, patogeno molto dannoso e sempre più diffuso il cui ciclo biologico si svolge in buona parte proprio all'interno della polpa delle olive. Alcuni studiosi hanno anche evidenziato come certe temperature raggiunte dalla polpa delle olive possano influenzare alcune fasi di sviluppo della mosca (Pucci et al, 1982; Orlandini et al, 2005). La metodologia utilizzata potrà essere replicata in altri oliveti con carattere applicativo, per esempio associando questo tipo di monitoraggio alla presenza di infestazioni di determinati parassiti o alla qualità delle olive e dell'olio.

### Materiali e Metodi

#### Area di studio

Lo studio è stato condotto in Val d'Orcia, la valle del fiume Orcia, che si trova nella parte centro-meridionale della

Toscana. La Val d'Orcia copre un'area di circa 670 Km<sup>2</sup> ed ospita 5 comuni della provincia di Siena: Castiglione d'Orcia, Montalcino, Pienza, Radicofani, San Quirico d'Orcia (figura 1). La regione è collinare e l'altitudine varia da circa 150 a circa 900 metri s.l.m. La Val d'Orcia è un'area a vocazione agricola e turistica, e le principali colture della zona sono cereali, vite ed olivo. Le cultivar di olivo maggiormente presenti in quest'area sono Frantoio, Moraiolo, Leccino e Seggianese, seguite da Pendolino e Maurino.

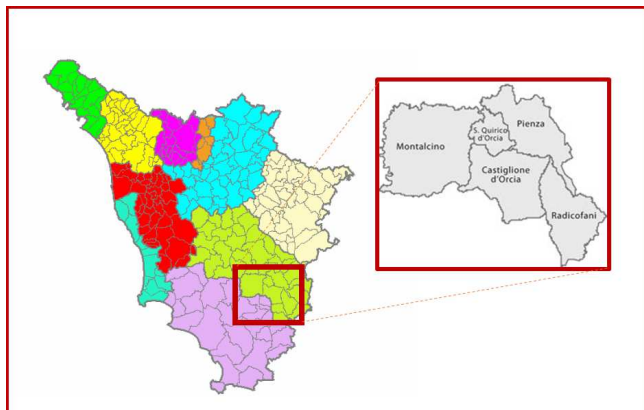


Figura 1: Identificazione dei comuni della Val d'Orcia  
Figure 1: Orcia Valley' Municipalities

#### Rilievi ambientali

Con lo scopo di monitorare la temperatura della polpa delle olive per valutare eventuali differenze, sono stati scelti 6 oliveti distribuiti sul territorio della Val d'Orcia (tabella 1).

Tabella 1: Quota e coordinate delle piante di olivo in cui sono stati inseriti i sensori per il monitoraggio

Table 1: geographical localization of the olive trees monitored

Oliveto	Quota m s.l.m.	Fuso	Coordinate UTM
1	239	32T 0709448	4762024
2	241	32T 0709389	4762047
3	404	32T 0711628	4771354
4	389	32T 0711706	4771560
5	324	32T 0708871	4766476
6	318	32T 0708852	4766509

In ognuno di questi è stata scelta una pianta che risultasse essere rappresentativa dell'oliveto, e, in prossimità di questa, è stato installato un sensore di temperatura dell'aria (HOBO U23-001 Pro v2: temperatura operativa da -30°C a 50 °C; risoluzione 0.2 °C tra 0 °C e 40 °C) dotato di schermo per protezione dalla radiazione solare (RS1-HOBO® PRO accessories – radiation shield) (figura 2) e 4 sensori di temperatura (figura 3) che sono stati inseriti all'interno della polpa di altrettante olive distribuite nella parte esterna della chioma, nella direzione dei quattro punti

cardinali (Nord, Sud, Est, Ovest). Ogni sensore è stato inserito in una oliva che precedentemente era stata bucata con un ago sterilizzato. Una volta inserito il sensore all'interno dell'oliva, una striscia di circa 2 mm di altezza di parafilm è stata posizionata intorno alla drupa all'altezza del foro con il sensore.



Figura 2: Monitoraggio della temperatura dell'aria nei pressi di un olivo

Figure:2 Field measurement of air temperature near an olive tree



Figura 3: Monitoraggio della temperatura della polpa di una oliva

Figure:3 Field measurement of olive pulp temperature

#### Risultati e Discussione

La variabilità termica tra gli oliveti monitorati è relativamente ridotta, nonostante gli oliveti si trovassero a quote variabili: la temperatura media del periodo agosto-settembre 2018 si è mantenuta prossima ai 22 °C in tutti gli oliveti; le temperature massime assolute hanno raggiunto i 42,1 °C nell'oliveto più caldo e 39,6 °C in quello più fresco.

I risultati evidenziano sensibili differenze tra le temperature della polpa delle olive e quella dell'aria nel periodo diurno, soprattutto nelle giornate con elevata radiazione solare ed assenza di vento. Anche la posizione dell'oliva sulla chioma sembra avere un effetto determinante sulla temperatura della polpa delle olive. La temperatura della



polpa delle olive esposte a Sud e ad Est hanno registrato differenze positive con la temperatura dell'aria di circa 0,7 e 0,9 °C rispettivamente, con differenze massime nelle ore diurne anche di oltre 11 °C nelle giornate serene e senza vento. La polpa delle olive esposte a Nord e ad Ovest, invece, ha mantenuto una differenza media con la temperatura dell'aria di circa 0,4 °C, con differenze massime nelle ore centrali di circa 7-8 °C (figura 4).

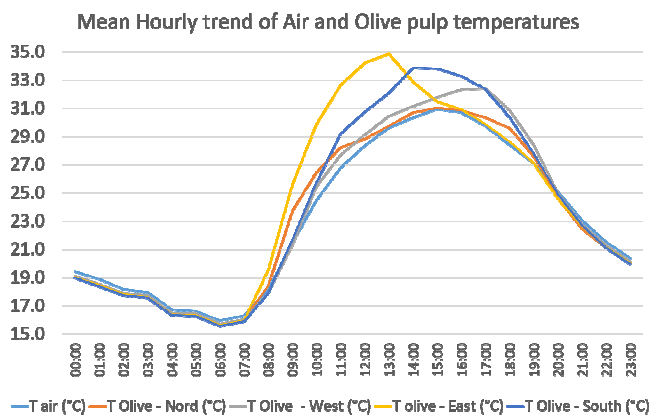


Figura 4: Andamento medio orario della temperatura dell'aria e della temperatura della polpa delle olive inserite nella chioma nella direzione dei 4 punti cardinali (T air = Temperatura dell'aria; T Olive N: temperatura della polpa dell'oliva esposta a Nord; T Olive West: temperatura della polpa dell'oliva esposta a Ovest; T Olive East: temperatura della polpa dell'oliva esposta a Est; T Olive S: temperatura della polpa dell'oliva esposta a Sud)

Figura 4: Hourly average air temperature and olive pulp temperature of the olives investigated; located according to the 4 cardinal points (T air = Air temperature; T Olive N: temperature of the olive pulp exposed to the North; Olive West and Sud)

Durante le ore notturne, non si osservano differenze di rilievo tra la temperatura delle olive e quella dell'aria. Le ore della giornata in cui si evidenziano le differenze più elevate sono tra le 12:00 e le 13:00 per il sensore della polpa inserito nell'oliva esposta ad Est, e tra le 14:00 e le 15:00 nel sensore esposto a Sud.

## Conclusioni

La presente sperimentazione ha consentito di evidenziare le relazioni esistenti tra temperatura della polpa delle olive, temperatura dell'aria ed esposizione delle olive. L'alta radiazione solare e l'assenza di vento sembrano essere i principali parametri che influenzano tali relazioni. Rispetto alla temperatura dell'aria la temperatura della polpa mostra solo sensibili differenze. Al contrario, differenze più marcate sono state osservate nella temperatura della polpa in relazione alla diversa esposizione delle olive e al momento della giornata. Le olive esposte a Sud e ad Est hanno mostrato una differenza più marcata rispetto alla

temperatura dell'aria, soprattutto nelle ore centrali della giornata.

## Ringraziamenti

Il presente studio è stato svolto nell'ambito del progetto "AppAGO – Applicazioni agronomiche innovative per gestione dell'olivicultura collinare" PSR 2014/2020 Regione Toscana- Progetti Integrati di Filiera – "PIF" annualità 2015, Sottomisura 16.2. Si ringraziano: Società Coop. Oleificio Val d'Orcia, Az. Agr. Poggio al Vento di Mascelloni Roberto, Az. Agr. La valle del Sole di Erika Formichi, Az. Agr. Podere Bernini di Lorenzoni Sergio, Az. Agr. Colombaio Martini di Fabio Martini e la Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze.

## Bibliografia

- Connor D-J., Gomez-del-Campo M., Trentacoste E. (2016) Relationships between olive yield components and simulated irradiance within hedgerows of various row orientations and spacings. *Scientia Horticulturae* 198:12-20.
- Daane K, Johnson M, Lynn-Patterson K, Nadel H, Opp S, Stewart-Leslie J, Wang X. (2011). High temperature affects olive fruit fly populations in California's Central Valley. *Calif Agr* 65(1):29-33. <https://doi.org/10.3733/ca.v065n01p29>.
- Wang X-G, Johnson MW, Daane KM, Nadel H. (2009) High summer temperatures affect the survival and reproduction of olive fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Env Entomol.* 38:1496-504. DOI: 10.1603/022.038.0518
- Orlandini S, Belcari A., Dalla Marta A., Sabatini F., Sachetti P. (2005) Dynamics of temperature in olive tree (*Olea europaea* L.) fruit pulp. *Advances in Horticultural Science* 19(1):42-46
- Ordano M, Engelhard I, Rempoulakis P, Nemny-Lavy E, Blum M, Yasin S, et al. (2015) Olive Fruit Fly (*Bactrocera oleae*) Population Dynamics in the Eastern Mediterranean: Influence of Exogenous Uncertainty on a Monophagous Frugivorous Insect. *PLoS ONE* 10(5): e0127798. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127798>
- Pucci C., Fornacina A., Dalmistraro D., (1982) - Incidenza della temperatura sulla mortalità degli stadi preimmaginali, sull'impupamento all'interno delle drupe e sull'attività dei parassiti del *Dacus oleae* (Gmel.). - *Frustula Entomologica*, 4: 143-155.
- Trentacoste E., Connor D-J., Gomez-del-Campo M. (2015) Row orientation: Applications to productivity and design of hedgerows in horticultural and olive orchards. *Scientia Horticulturae* 187 · May 2015 DOI: 10.1016/j.scienta.2015.02.032
- Wang X-G, Johnson MW, Daane KM, Nadel H. (2009) High summer temperatures affect the survival and reproduction of olive fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Env Entomol.* 38:1496-504. DOI: 10.1603/022.038.0518.



# MODELING IMPACTS OF BIOENERGY CROPS ON STREAMFLOW, SEDIMENTS AND NUTRIENT FLOWS USING THE SWAT MODEL

## MODELLAZIONE DEGLI IMPATTI DI COLTURE ENERGETICHE SUL DEFLUSSO, SUL TRASPORTO DI SEDIMENTI E NUTRIENTI MEDIANTE IL MODELLO SWAT

Giuseppe Pulighe<sup>1\*</sup>, Guido Bonati<sup>1</sup>, Filiberto Altobelli<sup>1</sup>, Flavio Lupia<sup>1</sup>, Marco Colangeli<sup>2</sup>, Lorenzo Traverso<sup>2</sup>  
Marco Napoli<sup>3</sup>, Anna Dalla Marta<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CREA – Research Centre for Agricultural Policies and Bioeconomy, via Po 14, 00198 Rome, Italy

<sup>2</sup> FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy

<sup>3</sup> UNIFI – Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente, Piazzale delle Cascine 18, 50144 Florence

\*[giuseppe.pulighe@crea.gov.it](mailto:giuseppe.pulighe@crea.gov.it)

### Abstract

In the upcoming years bioenergy production in the European Union (EU) is expected to grow significantly in order to meet the targets of the new Renewable Energy Directive (RED II). To this end, marginal, contaminated and underutilized lands in Mediterranean regions have the potential to contribute to meeting EU goals through the production of sustainable feedstock. However, far too little attention has been paid to investigate the environmental effects of growing dedicated energy crops in these environments. The SWAT model (Soil and Water Assessment Tool) was used to simulate the effectiveness of agronomic practices on bioenergy feedstock production on potential streamflow, soil erosion and nutrient losses at the watershed level in the Sulcis area (Sardinia, Italy). Results of hypothetical bioenergy scenario, under different agronomic practices and input strategies, were compared with the current land use as a reference scenario. The first results of this investigation show that the SWAT model is a reliable predictor of hydrological flow and water quality indicators of bioenergy-induced modifications in marginal lands for the Mediterranean agricultural systems. Dedicated bioenergy crops are able to reduce sediment transport in rivers and nutrient losses from the soil if compared with traditional row crops.

### Keywords

Bioenergy crops, streamflow, nutrient losses, SWAT, Sulcis

### Parole chiave

Colture bioenergetiche, deflusso, perdite di nutrienti, SWAT, Sulcis

### Introduction

Large quantities of cellulosic biomass are necessary over the upcoming years to meet the targets of the European Union (EU) Renewable Energy Directive (RED II). The newly revised policy will set measures leading to achieving at least 27% renewables in the final energy consumption (electricity, heating and cooling, and transportation sectors) by 2030.

In this framework, the expansion of bioenergy crops on marginal, contaminated and underutilized areas in the Mediterranean basin could be a valuable pathway to achieve EU goals while avoiding competition with food and feed production (Pulighe et al., 2016).

One of the greatest challenges is to identify and evaluate potential impacts of these crops on water quality and availability in order to implement best management practices for environmental sustainability. In fact, unregulated bioenergy expansion could have considerable implications on rivers and water resources due to largest input of chemical nutrients, pesticides, and sediments mobilized by agronomic practices and new cultivation management.

In this work, the semi-distributed process-based hydrologic SWAT model (Soil and Water Assessment Tool) was used to simulate the impact of planting bioenergy crops in the Sulcis area (Sardinia, Italy). The main objectives are to: (1) implement the SWAT model for a baseline scenario that

represents the actual land use with conventional crops representative of Mediterranean area and identifying a set of best setting parameters; (2) simulate the production of high yielding perennial energy crops in the irrigated and rainfed area in order to evaluate the effects of land use changes on discharge, sediments and nutrient flows by monitoring the water balance.

### Materials and Methods

The SWAT model is a public domain well-established hydrologic tool developed by the United States Department of Agriculture (USDA) through its Agricultural Research Service (USDA-ARS) and Texas A&M AgriLife Research. The model is being successfully used for assessing soil erosion, water quality and non-point source pollution in a variety of applications (Chen et al., 2017; Trybula et al., 2015). The model delineated the watershed into different sub-basins and further units on single Hydrologic Response Units (HRUs) that can be defined as homogeneous aggregation of soil, land use and slope for computing water cycle dynamics.

In this work, we used the ArcSWAT2012 version to manage all data in a GIS environment. Specifically, the input data used to implement the model are:

- Digital Elevation Model (10x10 m resolution);
- Hydrologic network;

- Land use map (21 classes – durum wheat 60 km<sup>2</sup>, irrigated area 78 km<sup>2</sup>);
- Soils map showing soil types (31 map units);
- Meteorological data (4 stations);
- Stream flow data (1 gauging station – 12 years);
- Water quality data (2 stations – 8 years).

Firstly, all input data was set-up to delineate the watershed, sub-basins and new drainage network. Secondly, the model was run to assess the hydrologic effects of the actual land use, considering 3-year warm-up period (1980-1982) and long-term effects for the following years (1983-2013). Finally, the model was set and run incorporating and simulating the presence in the land use the perennial energy crops, in order to evaluate their growth and response compared with traditional crops.

## Results

Climatic data show a typical bimodal pattern of Mediterranean environments for rainfall distribution and temperature (mean rainfall 668 mm; mean temperature 17.3 °C) (Fig. 1). The model results in a watershed area of 254,8 km<sup>2</sup>, 736 HRUs, 101 sub-basins, potential evapotranspiration of 1584 mm. The simulated stream discharge resembled with the observed discharge reasonably well for the observed period (years 1990-1992) (Fig. 2).

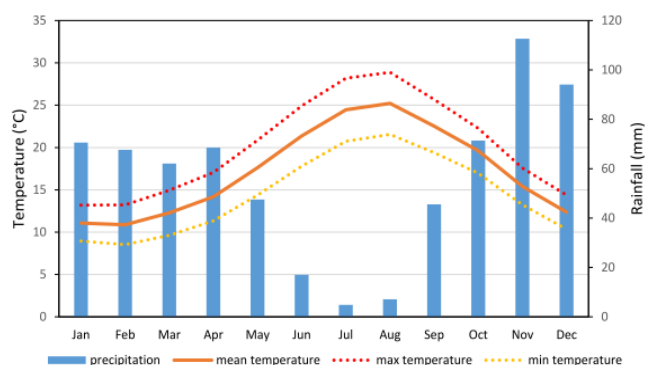


Fig. 1 - Climatic data of the study area.

Fig. 1 - Dati climatici dell'area di studio.

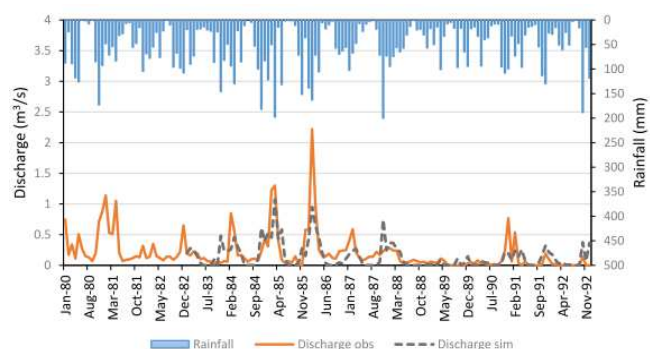


Fig. 2 - Stream discharge of the study area.

Fig. 2 - Deflusso superficiale dell'area di studio.

The results of the simulation for a future cultivation of perennial energy crops in the arable land shows a significant decrease with regard to sediment deposition and nitrogen losses in the basin (Tab. 1). Less marked surface runoff in the energy crops scenario could be attributed the presence of perennial crops (e.g. vineyards) and partly to the model that requires further calibration.

Tab. 1 - Scenarios of feedstock production.

Tab. 1 - Scenari per la produzione di biomasse..

Scenario	Sediment loading	N losses	Surface runoff
Baseline scen.	2.4 Mg/ha	33.1 kg/ha	63.6 mm/yr
Energy crops scen.	1.4 Mg/ha	16.3 kg/ha	62.4 mm/yr

## Discussion and conclusions

The work shows that the semi-distributed SWAT model is a reliable instrument to estimate hydrological flow, sediment and nutrient cycle in the study area. Preliminary results suggest positive impacts of hypothetical scenarios of bioenergy feedstock production with perennial crops on water quality and other selected environmental impacts. Future work will be carried out to validate and calibrate the model using SWAT-CUP (Calibration Uncertainty Program), especially for setting streamflow and surface runoff. Data gathered from field trials and bibliography will help to identify the best setting parameters for testing new energy crops in the model (e.g. giant reed, cardoon, switchgrass). New scenarios of bioenergy feedstock production will be modeled and simulated for in-depth analysis of the impacts of different landscape scenarios comprising detailed management operations such as tillage, fertilizer, pesticide application, irrigation, and harvesting.

**Acknowledgments:** The FORBIO project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 691846. This poster reflects only the author's view and the INEA is not responsible for any use that may be made of the information it contains.

## References

- Chen, Y., Ale, S., Rajan, N., Munster, C., 2017. Assessing the hydrologic and water quality impacts of biofuel-induced changes in land use and management. *GCB Bioenergy* 9, 1461–1475.
- Pulighe, G., Bonati, G., Fabiani, S., Barsali, T., Lupia, F., Vanino, S., Nino, P., Arca, P., Roggero, P., 2016. Assessment of the Agronomic Feasibility of Bioenergy Crop Cultivation on Marginal and Polluted Land: A GIS-Based Suitability Study from the Sulcis Area, Italy. *Energies* 9, 895.
- Trybula, E.M., Cibir, R., Burks, J.L., Chaubey, I., Brouder, S.M., Volenc, J.J., 2015. Perennial rhizomatous grasses as bioenergy feedstock in SWAT: Parameter development and model improvement. *GCB Bioenergy* 7, 1185–1202.

# **ITALIAN LANDSCAPES SEEN BY METEOSAT-SEVIRI NDVI AND THEIR PRIMARY NET PRODUCTION ESTIMATED BY TERRA-MODIS**

## **PAESAGGI ITALIANI VISTI DA METEOSAT-SEVIRI NDVI E LORO PRODUZIONE PRIMARIA NETTA STIMATA DA TERRA-MODIS**

Andrea Spisni<sup>1</sup>, Enrico Muzzi<sup>2</sup>, Sara Bettini<sup>2</sup>, Luca D. Sapia<sup>1</sup>, Vittorio Marletto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Arpae Emilia - Romagna – Servizio Idro Meteo Clima, viale Silvani 6, 40122, Bologna (BO)

<sup>2</sup> Università di Bologna – DISTAL, Scuola di Agraria e Veterinaria, Viale Fanin 44, 40127 Bologna  
[aspisni@arpae.it](mailto:aspisni@arpae.it)

### **Abstract**

The research identifies some Italian landscapes inspired by multitemporal compositions of monthly NDVI by Meteosat-Seviri (201305-201705). The areas identified were superimposed to the annual series of net primary production (NPP) estimated by Modis (2000-2014). The analysis shows the correlations with the climatic data and it represents a global database. It emerges also that mean NPP of an area is highly correlated to minimum NDVI (0.91).

The NPP data are processed by Numerical Terradynamic Simulation Group (NTSG) / University of Montana (UMT) and are accessible via FTP and search on specific Nasa sites. This is a 5.5 version and validated at stage 3 indicating that accuracy and uncertainties were verified through independent measurements.

### **Keywords:**

remote sensing image analysis, climate change, net primary production, NDVI, italian landscape.

### **Parole chiave:**

analisi immagini satellitari, cambiamenti climatici, produzione primaria netta, NDVI, paesaggi italiani.

### **Introduction**

The availability of frequent satellite acquisitions over an area permits a continuous land monitoring. The study analyzes monthly NDVI data from Meteosat Seviri sensor and annual net primary production (NPP) calculated by Terra Modis sensor. Inside the Italian border, the analysis defines different natural (Central Apennines woodlands, Central Apennines grassland and rocks, Alpine conifers, Alpine rocks, Southern conifers, Carbonia conifers and beech forest of Piacenza) and agricultural (Tavoliere delle Puglie, Olive tree in Puglia, paddies in Lombardia and flat area in Emilia-Romagna) landscapes.

### **Materials and methods**

NDVI (Normalized difference vegetation index) is calculated as  $(\text{Near infrared-red})/(\text{near infrared}+\text{red})$  and it enhances the presence of vegetation. It was first developed as simple ratio  $(\text{Near infrared}/\text{Red})$  (Jordan C.F., 1969), then the same year the formula was normalized (Kriegler F. J *et al.*, 1969), ranging hypothetically between -1 to 1 (vegetated areas usually have value greater than 0.2-0.3). In 1973 Rouse *et al.* applied the index for monitoring the Great Plains (USA) drought and in 1994 Rouse *et al.* design the multi date composite to compensate the effect of cloud cover and different orbit passes. In case of Meteosat Seviri NDVI the spatial resolution is 4 km. Each pixel is 16 kmq. Since May 2013 the Hydro Meteo Climate Service of Arpae Emilia-Romagna archives top of atmosphere reflectance (TOAREF) data from Meteosat. The sensor transmits the images every 15 minutes (in rapid scan mode every 5 minutes) Typically the server store only the acquisitions between 08.00 to 15.00 UTC, deleting hours without sun and subsetting the full disc to Italy extension. Each day, an

automatic procedure based on `meteosatlib` [1] and python codes ingests 10.00 UTC image (or the first available around that time) calibrate the image to TOAREF then calculate the NDVI.

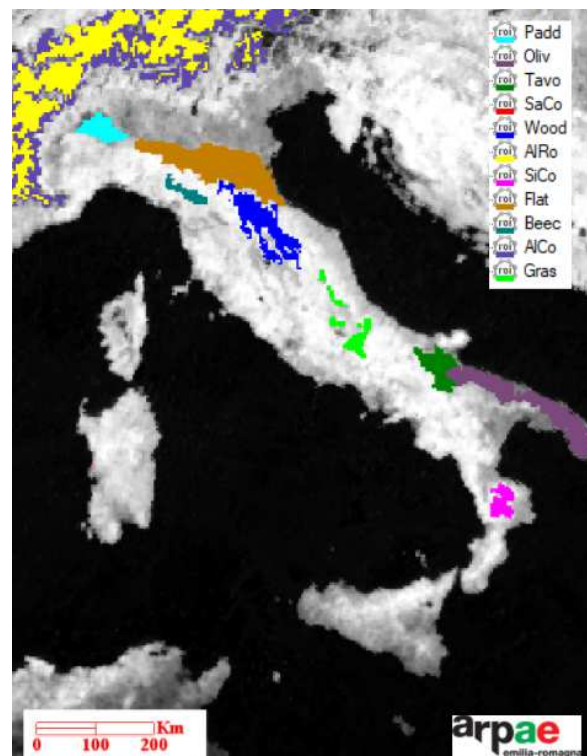


Fig. 1: Italian landscapes analyzed  
Fig. 1: Paesaggi italiani analizzati

At the end of the month the code create an image composite picking up for each pixel temporal profile the highest value of NDVI (Maximum Value Composite). This approach it is an easy way to discard cloud cover area and it is the same used by Nasa in Modis multi date composite products. The advantages of geostationary satellite very frequent acquisition during the day, but especially that the sensor view the surface always with the same incident angle thus limiting the distortions due to oblique acquisitions.

Annual NPP is available via ftp [2] and covers the period 2000-2014. It defines the rate at which all plants in an ecosystem produce net chemical energy and it is equal to the difference between the rate at which plants produce useful chemical energy (or GPP), and the rate at which they expend some of that energy for respiration. It has a spatial resolution of 1 km and the unit of measure is C\_kg/mq. Each pixel is 1 kmq.

The two databases overlap only for two years (2013 and 2014), so the analysis between the dataset is limited to this epoch.

According to NDVI time series we have defined some Italian landscape covering natural and agricultural ecosystems (table 1).

Tab. 1: Area of landscapes

Tab. 1: Area degli ecosistemi

ID	Landscapes	HA
Gras	Grassland of Central Apennines	235200
AlCo	Alpine Conifers	2297600
Beec	Beeches of Piacenza	126400
SiCo	Sila conifers	172800
AlRo	Alpine rock and mixed area	2833600
Wood	Woodlands of Emilia	627200
SaCo	Carbonia (Sardegna) conifers	1600
Flat	Flat area of Emilia-Romagna	1163200
Tavo	Tavoliere delle Puglie	313600
Oliv	Olive trees in Puglia	812800
Padd	Paddies in North Italy	240000

## Results and discussion

Figure 2 shows the temporal NDVI profile for agricultural landscape (b). Highest values are associated to paddies (in August) and in Tavoliere delle Puglie (in May related to the presence of winter wheat). At the same time olive trees have less fluctuation all over the year.

In the natural landscapes (Fig. 2 (a)) the highest value are reached by beech forest, then Sila conifers and woodland of Emilia. While Sila area has the highest NDVI in April, the two other formations are shifted later in the season (July and August).

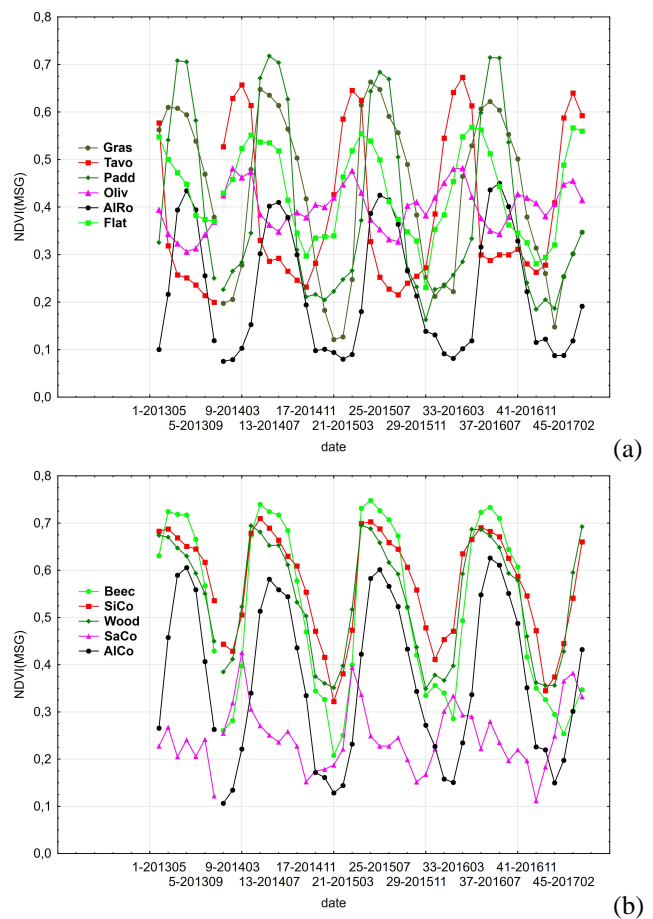


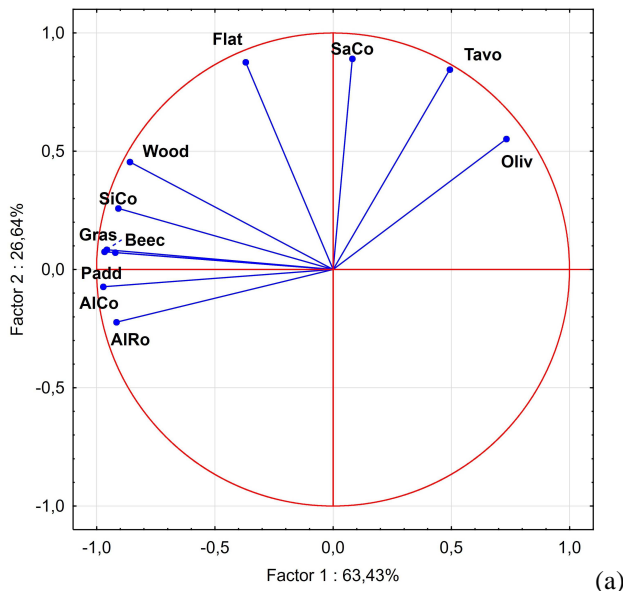
Fig. 2: Monthly NDVI profile of landscapes (a) natural areas, (b) agricultural areas

Fig. 2: Profilo mensile NDVI dei paesaggi (a) aree naturali, (b) aree agricole

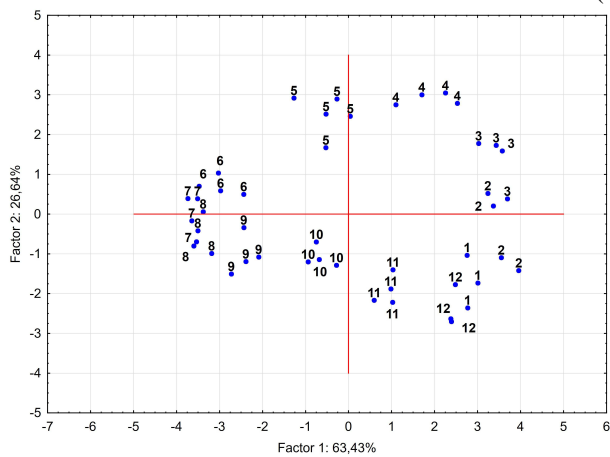
Figure 3 shows NDVI PCA analysis, the first axis (60% of signal intensity) divides winter (b) and summer (a), while the second axis (30% signal intensity) splits spring months where some landscapes have their maximum NDVI (Sila, Tavoliere and Olive trees in March/April and flat area of Emilia in May).

Figure 4 shows the annual profile of NPP. Sila conifers show the highest value, with a mean of 1.14 C\_kg/mq, followed by woodland and beeches. Alpine rocks area has the lowest (0.36 C\_kg/mq).. Looking at NPP values in each landscapes, the PCA analysis shows three gradients that intercept about 90% of the information. The first gradient, which accounts for 57%, turns out to be a quantitative gradient that orders the different landscape and years. It orders all the variables from a minimum to a maximum (2014 had the highest response and 2003 the lowest). On the other hand, gradients 2 and 3, which explain 33% of the information, show the interaction of the different landscapes with the single years





(a)



(b)

Fig. 3: PCA analysis NDVI of landscapes (natural and agricultural areas)

Fig. 3: Analisi PCA NDVI dei paesaggi (aree naturali e agricole)

In particular, it emerges a behavior of alpine conifers and alpine outcrops with respect to the remaining landscapes (in particular in the years 2007 and 2011 in which there are higher NPP values), and a clear differentiation between Sila conifers compared to olive tree in Puglia and Tavoliere. The Sila conifers were very productive in 2000 and 2001, while the olive tree and the Tavoliere were more productive in 2003, 2010 and 2014.

Comparison and analysis of the statistical indicators shows a correlation between NPP and spring/summer NDVI. In particular, the mean NPP is strongly correlated with the mean of NDVI (0.74) but even more with min NDVI (0.91). In fact, the PCA shows a first axis, which intercepts 52% of the information, which is strongly correlated with minNDVI and mean of NPP. In the second axis, the relevance of the variability emerges by contrasting the range of NDVI to the range of NPP (37%). Compared to the landscapes analyzed in the two seasons, an order emerges between those that are more productive, and those

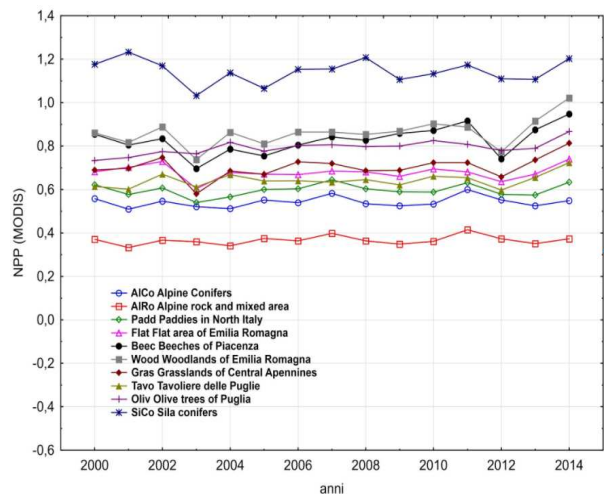
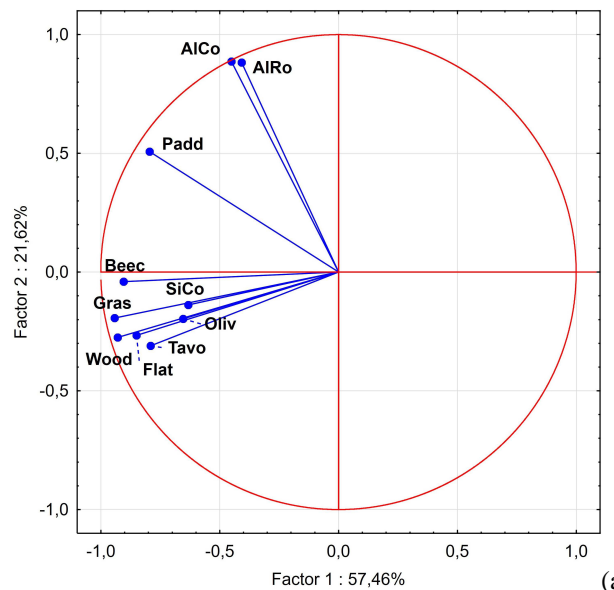
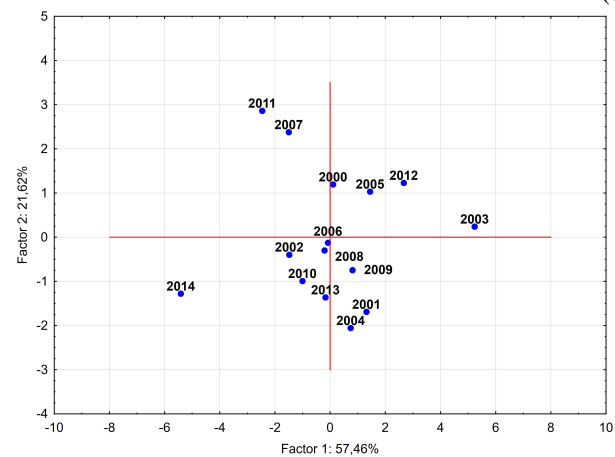


Fig. 4: NPP annual profile related to landscapes

Fig. 4: Profilo annuale NPP relativo ai paesaggi



(a)



(b)

Fig. 5: NPP PCA analysis according to landscapes: scatterplot 1 and 2 (about 79% of information)

Fig. 5: PCA su NPP annuale nei diversi paesaggi: gradiente 1 e 2 (circa 79% dell'informazione)



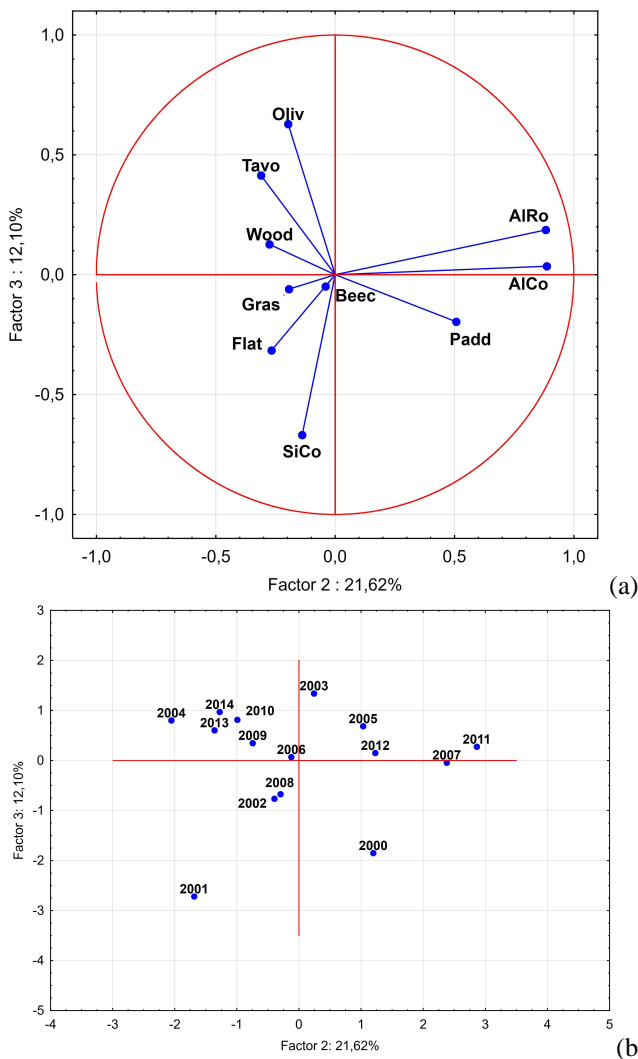


Fig. 6: NPP PCA analysis according to landscapes: scatterplot 2 and 3 (about 34% of information)  
 Fig. 6: PCA su NPP annuale nei diversi paesaggi: gradiente 2 e 3 (circa 34% dell'informazione)

that are less productive along the first axis. The second axis separates the paddies (with strong variations in the NDVI signal) from the Puglia olive tree (with strong variations in the NPP within the year).

### Conclusion

The availability of frequent acquisition satellite passes and worldwide validated database of a wide range of variables are very useful to monitor ecosystems and trace fluctuation over space and time.

The study analyzes monthly NDVI from Meteosat-Seviri and yearly NPP from Terra-Modis time series and relation between the two according to some Italian ecosystems. The patterns seen are correlated to ecosystems types and annual meteorological variation (wet, normal or dry year). According to ecosystem type, some are more prone to reduce yearly NPP in case of drought (woodland and beeches), while other are less affected like Tavoliere that shows high NPP value in 2003, probably because the main

crop is winter wheat, so not damaged by summer arid season.

It emerges also that mean NPP of an area is highly correlated to minimum NDVI (0.91).

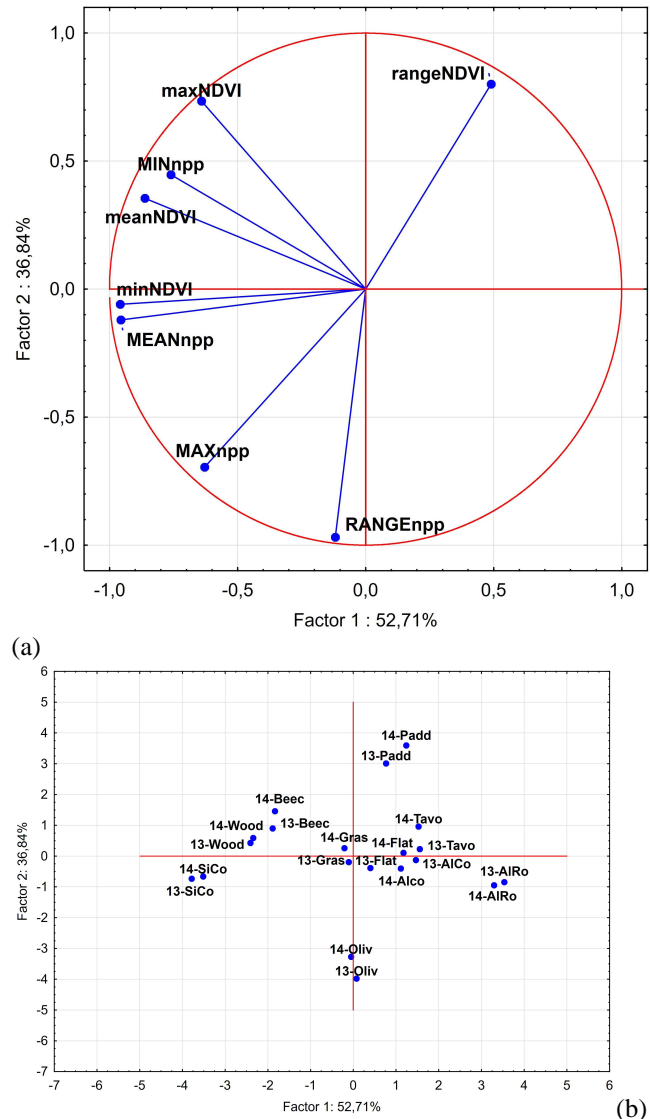


Fig. 7: NPP and NDVI PCA analysis according to landscapes: scatterplot 1 and 2 (about 85% of information)  
 Fig. 7: PCA sul rapporto tra NPP e NDVI annuali nei diversi paesaggi: gradiente 1 e 2 (circa 85% dell'informazione)

### References

Eidenshink J.C., Faundeenm J.L., 1994, The 1 km AVHRR Global Land Data Set: first stages in implementation, International Journal of Remote Sensing 15(17): 3443-3462  
 Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor. Ecology, vol. 50, pp. 663-666  
 Kriegler, F. J., Malila, W. A., Nalepka, R. F., Richardson, W. 1969. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition, in: Proceedings of

the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI, pp. 97-131

Muzzi E., Spisni A., Lettieri G., 2013, Relation between NDVI and rainfall in a apennines beech forest, Proceeding AIAM Firenze 4-6/06/2013

Rouse, J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., 1973: Monitoring vegetation systems in the great plains

with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317

#### **Web reference**

[1] <https://github.com/ARPA-SIMC/meteosatlib>

[2] <https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD17A3.055/>

# CANOPY RAINFALL INTERCEPTION: A UNIFIED MODEL TESTED ON CORNISH OAK

## INTERCETTAMENTO DELLA PIOGGIA DA PARTE DELLE CHIOME: UN MODELLO UNIFICATO TESTATO SU ROVERE

Antonio Volta<sup>1,2\*</sup>, Giulia Villani<sup>1,2</sup>, Pietro Panzacchi<sup>3,4</sup>, Maurizio Ventura<sup>3</sup>, Federico Magnani<sup>1</sup>, Vittorio Marletto<sup>2</sup>, Giustino Tonon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> DISTAL – Università di Bologna, viale Fanin 50, 40127, Bologna (BO)

<sup>2</sup> ARPAE-SIMC, viale Silvani 6, 40122, Bologna (BO)

<sup>3</sup> Faculty of Science and Technology, Free University of Bolzano Bozen, Piazza Università 5, 39100, Bolzano, Italy

<sup>4</sup> Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise, Contrada Fonte Lappone, 86090 Pesche, Italy

\*avolta@arpae.it

### Abstract

Because of climate change, floods become every day a keener concern for population. Therefore, all measures to diminish and to thoroughly manage surface runoff are welcome.

In crop systems, rainfall intercepted by crops is most of the times neglected when computing water balance, because this component is minimal compared to the amount reaching the soil surface. That is not the case in forests, where canopies have a bigger storage capacity and moreover they produce a significant litter quantity, inducing a strong mulching effect. These two factors affect drastically water balance in terms of distribution amounts and process dynamics.

In this work, we present a model built by unifying two previous ones used to study the canopy drainage, composed by throughfall and stemflow. The model was tested in a *Quercus petrea* stand located in Monticolo (Bolzano, Northern Italy), comparing model outputs with data collected in the field.

### Keywords

rainfall interception, plant modelling, *Quercus petrea*, water balance, forest hydrology

### Parole chiave

intercettamento della precipitazione, modellistica della pianta, Rovere, bilancio idrico, idrologia forestale

### Introduction

Water balance is a fundamental tool for land management. Big influence on that is given by vegetation. In forests canopy water interception plays a key role, modifying the water dynamics in terms of allocation (run-off, infiltration, etc.) as well as timing. If well managed, this can become an advantage against erosion and floods. In this work, we propose a model to describe water interception of canopy. Calibration and validation of the model is provided for Cornish oak (*Quercus petrea*).

### Materials and Methods

The model works at hourly time scale. It is a bucket model where tree crown is thought as a reservoir able to intercept and harbour a certain amount of rainfall before to release it as drainage. Thus rainfall incoming to the top of the canopy, depending on canopy properties, can freely pass through the canopy or intercepted (Van Dijk A.I.J.M & Bruijnzeel L.A., 2001). The intercepted rainfall is stored up to a certain threshold (Rutter et al., 1971). The rainfall exceeding this threshold is dispatched to throughfall (85%) and to stem flow (15%). Stored water evaporates as in Rutter et al., (1971). Calibrated parameters are the stem (0.105 mm) and the leaf (0.3 mm) storage capacity and the extinction coefficient (0.69). The main variable that governs the repartition of rainfall is the Leaf Area Index (LAI). The conceptual scheme of the model is shown in Fig. 1.

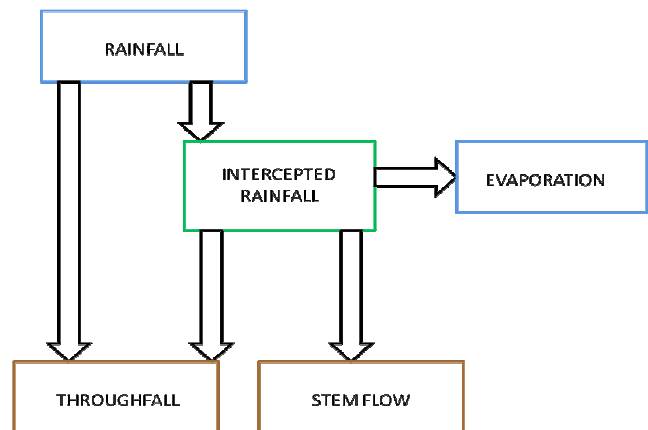


Fig.1 - Conceptual scheme of the model.

Fig.1 – Schema concettuale del modello.

Weather data feeding the model were observed by a field station within the experimental area. The field area is located in Monticolo (Bolzano, Northern Italy, lat. 46.417 lon. 11.274). The experimental area is a Cornish Oak old coppice converted to high forest. Trees are on average 67 years old. Plant density is 1266 plants/ha and the mean plant height is 13 m. Measured LAI\_max resulted in 3.5 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>.

To measure throughfall, 18 collectors (Fig.1 right hand side) were put under the canopy. Three collectors were put outside the forest, to compare the collected water volume with the more accurate records of the rain gauge.

Stemflow was measured with collectors placed at the base of the trunk (Fig.1 left hand side), consisting of tanks of variable capacity (2 l volume during 2015 and 2016, 10 l volume in 2017). For model calibration, we used throughfall data of year 2017 whereas data of 2015 and 2016 were used for validation. Observations were carried out monthly. Data were used only if the monthly discrepancy between external collectors and the weather station rain gauge was less than 10 mm, as the used collectors do not follow the WMO standards to guarantee accurate rainfall measurements.



Fig.2- Throughfall collector (left hand side) and stem flow collector (right hand side).

Fig.2 – Collettore dell'acqua drenata (sinistra) e collettore di flusso dal fusto (destra).

### Results and Discussion

Time course of observed (blue diamonds) and simulated (red squares) throughfall are shown in Fig. 3. Observed data are the mean of 18 measurements; error bars represent the standard deviation. All outputs (in both calibration and validation periods) are within the standard deviation. In Fig. 4 observed (blue diamonds) and simulated (red squares) stemflow are shown. In four dates, the maximum collector capacity was reached, so that the blue dots without error bar have to be considered as lower bounds.

### Conclusions

In this work we focused on rainfall interception of canopy and partitioning of water reaching the ground into stemflow and throughfall. This study is fundamental in the framework of the Rainbo EU Life project (LIFE15CCA/IT/00035), as a thorough water balance is required to assess flash flood risks. Results obtained in the Cornish oak stand are promising and suitable for implementing the model into the Rainbo project platform.

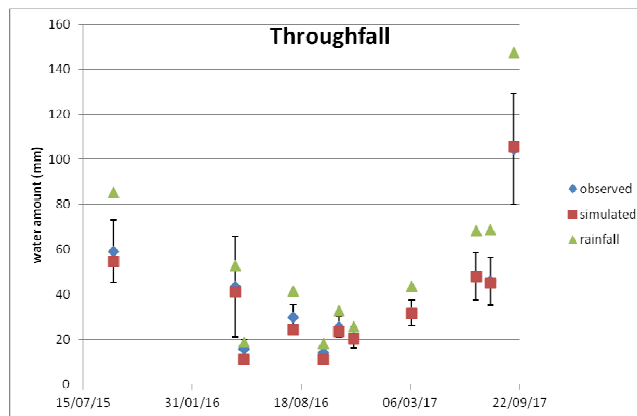


Fig.3- Time course of rainfall (green triangles), observed throughfall (blue diamonds) and simulated throughfall (red squares).

Fig.3 Andamento delle precipitazioni (triangoli verdi), drenaggio osservato (rombi blu) e drenaggio simulato (quadrati rossi).

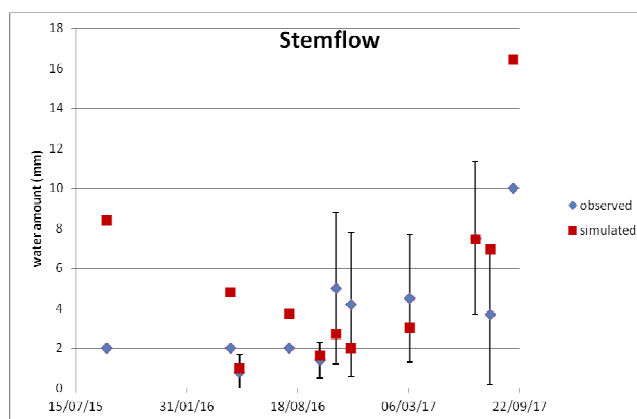


Fig.4- Time course of the observed stem flow (blue diamonds) and simulated stemflow (red squares). The blue diamonds without error bars are lower bounds.

Fig.4 Andamento delle precipitazioni (triangoli verdi), drenaggio osservato (rombi blu) e drenaggio simulato (quadrati rossi). I rombi blu senza barra di errore rappresentano limiti inferiori dell'osservato.

### References

- van Dijk A.I.J.M., Bruijnzeel L.A., 2001. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. Journal of Hydrology, 247(3-4):230-238.
- Rutter A.J., Kershaw K.A., Robins P.C., Morton A.J., 1971. A predictive model of rainfall interception in forests I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican Pine. Agricultural meteorology 9: 367-384.