



Italian Journal of Agrometeorology

Rivista Italiana di Agrometeorologia

Anno 16 - n. 2 - Agosto 2011

Implementazione di un modello per la stima del deficit irriguo estivo in alta pianura veneto-friulana e prima applicazione in adattamento ai cambiamenti climatici (Progetto Europeo Life+ Trust) <i>Matteo Bisaglia, Massimo Cappelletto, Sara Pasini, Aurélie Cimolino, Francesco Baruffi, Alberto Galli, Vincenzo Marsala, Andrea Scarinci, Silvio Gualdi, Edoardo Bucchignani, Angelo Zandonella</i>	pag.	5
Some considerations on the productivity of the agriculture in Tamghat Valley (Nepal): the case of rice <i>Simone G. Parisi, Mario Bianco, Luigi Mariani</i>	pag.	15
Agroclimatic application of a simple methodology based on surface radiation measurements <i>Teodoro Georgiadis, Marianna Nardino, Federica Rossi</i>	pag.	21
NOTE TECNICHE: Downscaling of ecophysiological information from natural communities to urban trees <i>Federica Rossi, Rita Baraldi, Marianna Nardino, Francesca Rapparini, Teodoro Georgiadis</i>	pag.	29
Effetti dell'irrigazione sovrachioma sul condizionamento del microclima in fragola sotto tunnel <i>Michele Genovese, Giambattista Toller, Stefano Corradini, Daniele Prodorutti, Davide Profaizer, Claudio Ioriatti</i>	pag.	33
Development of Zanjan province dry land wheat atlas <i>Pegah Mollaei</i>	pag.	39
Il Data Mining nello sviluppo di modelli previsionali per la gestione integrata dell'agricoltura sostenibile <i>Stefania D'Arpa, Emanuele Barca, Vito Felice Uricchio</i>	pag.	42

Periodico quadrimestrale dell'Associazione Italiana di Agrometeorologia (AIAM) - ISSN 2038-5625
Reg. Tribunale di Firenze n. 5221 del 4/12/2002

Editor in Chief (Direttore scientifico):

Simone Orlandini

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, del Suolo e dell'Ambiente, Agroforestale (DIPSA) - Università degli studi di Firenze Piazzale delle Cascine, 18 - 50144 Firenze (FI) Tel. +39 055 32 88 257 e-mail: simone.orlandini@unifi.it

Associate editor (Direttore scientifico aggiunto):

Luigi Mariani

Dipartimento di Produzione Vegetale - Università degli studi di Milano Via Celoria, 2 - 20133 Milano (MI) Tel. +39 02 50 31 65 87 e-mail: luigi.mariani@unimi.it

Direttore responsabile:

Francesca Ventura

e-mail: francesca.ventura@unibo.it

Progetto grafico e Impaginazione:

Omega Graphics Snc - Bologna

Stampa:

LL.PE. Tipografia Persicetana, San Giovanni in Persiceto, Bologna, settembre 2011

**REDAZIONE,
ABBONAMENTI E PUBBLICITÀ**
Patron Editore

Via Badini 12, 40057 Quarto Inferiore,
Granarolo dell'Emilia, Bologna
Tel. 051.767003 - Fax 051.768252
www.patroneditore.com
info@patroneditore.com

Presidente AIAM:

Federico Spanna

e-mail: federico.spanna@regione.piemonte.it

Consiglieri:

Marco Acutis, Roberto Confalonieri, Bruno Di Lena, Pierpaolo Duce, Simone Orlandini, Donatella Spano, Francesca Ventura

Revisori dei conti:

Giovanni Dal Monte, Vittorio Marletto, Luigi Pasotti

Segreteria AIAM:

Simone Falzoi, Emanuela Forni, Tiziana La Iacona, Mattia Sanna, Irene Vercellino

e-mail: segreteria@agrometeorologia.it

Sede operativa:

c/o Regione Piemonte - Settore Fitosanitario

Via Livorno, 60 - 10144 Torino Tel. 011-4324770, 4323706
Fax 011-4323710

Sede legale:

via Caproni, 8 - 50144 Firenze

web: www.agrometeorologia.it

e-mail: ijagrometeorology@agrometeorologia.it

ABBONAMENTI

Abbonamento € 40,00 (estero € 53,00)

Fascicoli arretrati € 15,00 (estero € 19,00)

Versamento sul c.c.p. n. 000016141400 intestato all'Editore
abbonamenti@patroneditore.com



Field Editors

Agrienergie ed energie rinnovabili:

Anna Dalla Marta - DIPSA - Università degli studi di Firenze

Avversità e difesa:

Antonello Cossu - ARPAS – Dipartimento di Sassari - Servizio Valutazione e Analisi Ambientale

Clima e cambiamento climatico:

Alessandro Chiaudani - Agenzia Regionale Protezione e Prevenzione Ambientale del Veneto

Crescita e produzione, agrotecniche:

Roberto Confalonieri - Dipartimento di Produzione Vegetale – Università degli studi di Milano

Fenologia:

Emanuele Eccel - Fondazione Edmund Mach di San Michele all'Adige (TN)

Micrometeorologia:

Simona Consoli - Dipartimento GESA - Università degli studi di Catania

Relazioni idriche ed irrigazione:

Domenico Ventrella - CRA - Unità di Ricerca per i Sistemi Colturali degli Ambienti Caldo Aridi di Bari

Spazializzazione, GIS e remote sensing:

Gabriele Cola - Dipartimento di Produzione Vegetale – Università degli studi di Milano

Tecniche operative:

Luigi Pasotti - Assessorato Regionale all'Agricoltura e alle Foreste della Regione Sicilia

Editorial Board

Acutis Marco - Università di Milano, Milano

Bindi Marco - Università di Firenze, Firenze

Bocchi Stefano - Università di Milano, Milano

Borin Maurizio - Università di Padova, Padova

Brunini Orivaldo - Center of Ecology and Biophysics. Agronomic Institute, Campinas (Brazil)

Calanca Pierluigi - Agroscope Reckenholz-Tänikon, Zurigo (Svizzera)

Casa Raffaele - Università della Tuscia, Viterbo

Chipindu Barnabas - Department of Physics - University of Zimbabwe, Harare (Zimbabwe)

Danuso Francesco - Università di Udine, Udine

Eitzinger Josef - University of Boku, Vienna (Austria)

Lee Byong-Lyol - Korea Meteorological Administration, Suwon (Republic of Korea)

Maracchi Giampiero - Università di Firenze, Firenze

Marletto Vittorio - ARPA-Emilia Romagna, Bologna

Motha Raymond - United States Department of Agriculture, Washington (USA)

Nejedlik Pavol - Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava (Slovacchia)

Perini Luigi - CRA – CMA, Roma

Rathore Laxman Singh - Agromet Division, India Meteorological Department, New Delhi (India)

Rossi Federica - CNR-IBIMET, Bologna

Rossi Pisa Paola - Università di Bologna, Bologna

Sentelhas Paulo Cesar - Department of Exact Sciences ESALQ - University of São Paulo, Piracicaba, SP, (Brazil)

Spano Donatella - Università di Sassari, Sassari

Stefanski Robert - WMO, Ginevra (Svizzera)

Stone Robert - University of Southern Australia - Toowoomba (Australia)

Alexandrov Vesselin - National Institute of Meteorology and Hydrology, Sofia (Bulgaria)

La rivista è spedita gratuitamente ai soci AIAM. La quota associativa all'AIAM per il 2011 è fissata in € 60,00 per i soci singoli ed in € 300 per gli enti.

It is great pleasure for the Italian Association of Agrometeorology (AIAM) to welcome the new members of the Editorial Board. Their enthusiastic acceptance of the invitation to collaborate with the Italian Journal of Agrometeorology (IJAm) represents an honor for all of us and I am sure that, thanks to their high qualification, not only IJAm, but the whole Association, will receive strong benefits. Editorial Board members will surely guarantee a continuous flow of updated information concerning the most recent development of agrometeorology at national and international level. A warm welcome also to Simona Consoli, new field editor for the important theme of “micrometeorology”.

With the same pleasure, I would like to acknowledge the strong contribution offered by the past Editorial Board, especially during the difficult initial phase of IJAm establishment. Some of the past members have been replaced in view of a normal and regular revision of the Editorial Board composition, but I am sure that they will maintain a fruitful collaboration with IJAm.

The last congress of AIAM was a great success, with about 35 oral presentations and a number of posters and instrument exhibitions during three days. The operational role of agrometeorology, particularly to support crop protection and a rational water use, was deeply discussed confirming the strong vitality of agrometeorological community. It has the almost unique capacity to combine a high scientific level with an operational perspective aimed to support agricultural end-users.

Simone Orlandini

OBIETTIVI

L'Italian Journal of Agrometeorology (Rivista Italiana di Agrometeorologia) si propone di pubblicare contributi scientifici originali, preferibilmente in lingua inglese ma anche italiana, riguardanti l'agrometeorologia, intesa come scienza che studia le interazioni dei fattori meteorologici e idrologici con l'ecosistema agricolo-forestale e con l'agricoltura intesa nel suo senso più ampio (comprendendo gli allevamenti e la pesca). Fra le aree tematiche di specifico interesse della rivista si segnalano: l'ecofisiologia, la fenologia, la crescita delle piante e la qualità e quantità della produzione, la fitopatologia, l'entomologia, le condizioni di benessere degli allevamenti, la fisica del terreno e l'idrologia, la micrometeorologia, la modellistica di simulazione e previsione, il telerilevamento, la pianificazione territoriale, i sistemi informativi geografici e le tecniche di spazializzazione, la strumentazione di misura di grandezze fisiche e biologiche, le tecniche di validazione di dati, l'agroclimatologia, la divulgazione in agricoltura e i servizi di supporto per gli operatori agricoli. La Rivista si avvale di un Comitato Scientifico, che è il garante della qualità delle pubblicazioni e che per tale scopo può avvalersi di referee esterni.

AIMS

The Italian Journal of Agrometeorology (Rivista Italiana di Agrometeorologia) publishes English or Italian written original papers about agrometeorology, that is the science which studies the interactions between meteorological, hydrological factors and the agro-forest ecosystem and with agriculture, including all the related themes (husbandry and fisheries). Among the main considered topics: ecophysiology, phenology, plant growth and quality and quantity of yield, animal comfort, phytopathology, entomology, soil physics and hydrology, micrometeorology, simulation and forecasting modelling, remote-sensing, landscape planning, geographical information system and spatialization techniques, instrumentation for physical and biological measurements, data validation techniques, agroclimatology, diffusion of information and support services for farmers. Submitted articles are reviewed by independent members of the Editorial Board or by other appropriate referee.

GUIDA PER GLI AUTORI

1. Il manoscritto inviato deve riferirsi a materiale originale, non pubblicato altrove, se non in fase strettamente preliminare.

2. Il manoscritto deve essere inviato esclusivamente via e-mail a: ijagrometeorology@agrometeorologia.it

La pubblicazione sull'Italian Journal of Agrometeorology (IJAm) è subordinata alla revisione ed all'approvazione del Comitato di Redazione, che potrà avvalersi del parere di revisori esterni per materie specifiche.

3. Sono accettati lavori per le tre sezioni della rivista: rassegne bibliografiche, lavori di ricerca, note tecniche.

L'articolo dovrà preferibilmente essere redatto in lingua inglese. Tutte le pagine e le righe del manoscritto devono essere numerate.

4. Occorre fornire Nome, Cognome, Posizione Accademico/ Professionale, ente di affiliazione, indirizzo, numero telefonico e indirizzo di posta elettronica degli Autori e indicare chiaramente l'Autore di riferimento per la corrispondenza con l'Editor.

5. Il riassunto (abstract) non deve superare le 12 righe e deve essere sia in lingua italiana sia in lingua inglese.

Le parole chiave (keywords) e il titolo devono essere sia in lingua italiana sia lingua inglese.

6. Come separatore decimale è necessario impiegare il punto e non la virgola (es. 4.33 e non 4,33).

7. Le figure, le tabelle, i grafici, le foto e le didascalie devono essere allegare salvandole in file diversi da quello del testo. Per una buona stampa, le immagini devono essere vettoriali o create a almeno 300 ppi/dpi.

8. Le didascalie di tutte le immagini, da predisporre sia in italiano che in inglese devono essere indicate come segue: Fig.x – Nome figura, Tab.x – Nome tabella. Nel testo invece devono essere citate come: (Fig.x), (Tab.x). La traduzione deve essere riportata in corsivo: Fig.x – Nome figura, Tab.x – Nome tabella.

9. Per gli autori stranieri, tutte le traduzioni in Italiano saranno a cura di AIAM.

10. Una versione definitiva ed impaginata dell'articolo pronto per la pubblicazione sarà inviata agli Autori, di norma una sola volta, per la segnalazione di eventuali correzioni tipografiche.

11. È prevista la stampa in quadricromia degli articoli solamente a carico degli Autori che richiederanno direttamente all'Editore un preventivo al seguente indirizzo:

Italian Journal of Agrometeorology
Patron Editor
Via Badini, 12
40057 Quarto Inferiore, Granarolo dell'Emilia (BO)
e-mail: periodici@patroneditore.com

12. Tutti i riferimenti citati nel testo devono essere riportati nel paragrafo "References/Bibliografia" e tutti i riferimenti presenti in "References/Bibliografia" devono essere citati nel testo.

Nel testo i cognomi degli Autori devono essere citati senza il nome e senza l'iniziale (es: "Rossi, 2003" e non "Federico Rossi, 2003" e nemmeno "F. Rossi, 2003").

Se nel testo viene citato un lavoro di due Autori, utilizzare la notazione "Bianchi and Rossi, 2003" (non utilizzare "&" tra i due nomi). Se nel testo viene citato un lavoro con più di due Autori, utilizzare la notazione "Bianchi et al., 2003".

Per le riviste, le citazioni dovranno essere stese come segue:

Bianchi R., Colombo B., Ferretti N., 2003. Titolo dell'articolo. Nome della rivista, numero della rivista: pagine.

Per i libri:

Bianchi R., Colombo B., Ferretti N., 2003. Titolo del libro. Editore, Luogo, numero totale di pagine pp.

Può essere citato materiale "in stampa".

Non sono accettati riferimenti a lavori presentati in occasione di convegni, seminari e simili come poster o comunicazioni orali e non pubblicati nei relativi atti.

GUIDE FOR AUTHORS

1. Manuscript should refer to original researches, not yet published except in strictly preliminary form.

2. Manuscript should be submitted only by e-mail to ijagrometeorology@agrometeorologia.it.

Articles of original researches findings are published in Italian Journal of Agrometeorology (IJAm), subsequent to critical review and approval by the Editorial Board. External referees could be engaged for particular topics.

3. Three types of paper can be submitted: original paper, review, technical note.

Manuscript can be written in English or Italian. All pages and lines of the manuscript should be numbered.

4. First Name, Last Name, position, affiliation, mail address, telephone and fax number of all the Co-Authors are required. Corresponding Authors should be clearly identified.

5. The abstract should be no longer than 12 typed lines and should be written in both English and Italian.

Keywords and title should be written in both English and Italian.

6. Full stop, not comma, must be used as decimal mark (e.g. 4.33 and not 4,33).

7. Figures, tables, graphs, photos and relative captions should be attached in separate files. All images must be vector or at least 300 effective ppi/dpi to ensure quality reproduction.

8. Captions should be written both in English and Italian and should be written as: Fig.x – Caption title, Tab.x – Caption title. Images should be referred to in the text as (Fig.x), (Tab.x). The translation must be written in italic: Fig.x – Caption title, Tab.x – Caption title.

9. For foreign authors, all requested translations into Italian will be made by AIAM.

10. Proof of the paper (formatted according to the Journal style) will be sent to the Corresponding Author for proof reading just one time. Corrections can be made only to typographical errors.

11. Four colour printing of the article is available. Authors can demand an estimate of costs to the Editor:

Italian Journal of Agrometeorology
Patron Editor
Via Badini, 12
40057 Quarto Inferiore, Granarolo dell'Emilia (BO)
e-mail: periodici@patroneditore.com

12. All the references in the text must be reported in the "References" section and vice-versa. In the text, only the Author(s) last name must be present, without the name or the first letter of the name (e.g. "Rossi, 2003" and not "Federico Rossi, 2003" or "F. Rossi, 2003").

If two authors are present, refer to them as: "Bianchi and Rossi, 2003" in the text (do not use "&" between the surnames). If more than two Authors are present, refer to them as: "Bianchi et al., 2003" in the text.

For journals, references must be in the following form:

Bianchi R., Colombo B., Ferretti N., 2003. Title. Journal name, number: pages.

For books:

Bianchi R., Colombo B., Ferretti N., 2003. Book title. Publisher, publishing location, total number of pages pp.

Manuscripts "in press" can be cited.

Posters or oral presentation can not be cited if they are not published on the relative proceedings.

Implementazione di un modello per la stima del deficit irriguo estivo in alta pianura veneto-friulana e prima applicazione in adattamento ai cambiamenti climatici (Progetto Europeo Life+ Trust)

Matteo Bisaglia^{*}, Massimo Cappelletto¹, Sara Pasini¹, Aurélie Cimolino¹, Francesco Baruffi¹, Alberto Galli², Vincenzo Marsala², Andrea Scarinci², Silvio Gualdi³, Edoardo Bucchignani³, Angelo Zandonella⁴

Riassunto: Il progetto europeo LIFE+ TRUST è incentrato sullo studio di misure di adattamento delle acque sotterranee dell'Alta Pianura Veneto-Friulana all'impatto dei cambiamenti climatici. Tra gli obiettivi specifici del progetto ha rilevanza la stima del fabbisogno irriguo delle principali colture estive e dell'evoluzione dell'idroesigenza in conseguenza ai cambiamenti climatici. È stato condotto uno studio elaborando e spazializzando i dati pedologici e climatici necessari a individuare i flussi idrici relativi al suolo coltivato, classificato e mappato mediante tecniche di telerilevamento. Il bilancio idrico è stato risolto con passo temporale pentadico mediante un apposito modello implementato in ambiente GIS ed ha portato ad una stima del deficit irriguo medio dell'area variabile tra 100 e 200 mm. Analogamente, utilizzando serie di dati provenienti da simulazioni climatiche sulla regione mediterranea per il XX e XXI secolo (in accordo con gli scenari IPCC), è stata elaborata una previsione del deficit irriguo condizionato dal cambiamento climatico pari a circa quattrocento mm medi nell'area studio.

Parole chiave: deficit idrico, esigenze irrigue, cambiamenti climatici, Telerilevamento, GIS.

Abstract: The european project LIFE+ TRUST focuses on identifying adaptation measures to mitigate the impacts of climate change on the groundwater of the Upper Plain in the Veneto and Friuli regions in North-Eastern Italy. One of the specific objectives of the project is the evaluation of irrigation water deficit affecting summer crops and its evolution due to climate change. This paper reviews the development and application of an innovative model that simulates water circulation in cultivated soils to estimate water deficit, using agronomic and climatic real data. Irrigated crops mapping has been performed through Remote Sensing identification methods. Water balance has been calculated at five-days temporal resolution using a GIS. Average irrigation water deficit in the study area has been estimated between 100 and 200 mm. Projections on the water deficit as a function of climate change have used future precipitation and evapo-transpiration patterns derived from climate simulations (IPCC scenarios) for the Mediterranean region for the 20th and 21st centuries. The average irrigation water deficit for the future scenario has been estimated at approximately 400 mm.

Keywords: water deficit, irrigation water demand, climate change, Remote Sensing, GIS.

INTRODUZIONE

L'effetto dei cambiamenti climatici sulla disponibilità idrica costituisce un argomento di indagine quanto mai attuale, specie in relazione alle ultime disposizioni Comunitarie in materia di tutela della risorsa idrica (Direttive 2000/60/CE e 2006/118/CE) e alla recente normativa italiana di recepimento. L'interesse e la centralità del tema a livello comunitario sono comprovate anche dal finanziamento di

diversi progetti finalizzati alla promozione di strumenti innovativi per la gestione di tali problematiche a livello di politica e *governance* ambientali. Il progetto LIFE+ TRUST si colloca in questo ambito e ha come obiettivo finale l'individuazione di misure di ricarica artificiale della falda nell'alta pianura veneto-friulana in adattamento al cambiamento climatico, da identificarsi mediante analisi idrogeologica e implementazione di modelli di bilancio.

In questo lavoro sono presentati i primi risultati relativi alla stima del fabbisogno irriguo delle principali colture estive, basata su tecniche di telerilevamento e modellazione in ambiente GIS, nonché alcune valutazioni sull'evoluzione del deficit irriguo in relazione al cambiamento climatico. L'approccio utilizzato si basa sulla risoluzione del-

^{*} Corresponding Author e-mail: sistema.informativo@adbve.it

¹ Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico.

² SGI Studio Galli SpA, andrea.scarinci@sgi-spa.it

³ CMCC, Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, gualdi@bo.ingv.it

⁴ Consulente Tecnico-Scientifico, angelo.zandonella@ieee.org

Received 06 August 2010 accepted 15 June 2011

l'equazione di bilancio idrico applicata al suolo coltivato, preso in esame il trimestre estivo (giugno-agosto) di tre anni che ben riassumono una variabilità climatica recente rappresentata da un anno secco (2003), un anno medio (2006) e un anno piovoso (2007). Allo stato di elaborazione del presente studio è stata effettuata la mappatura colturale delle tre annate che ha evidenziato una stabilità sostanziale degli assetti colturali; ed una prima applicazione di bilancio per l'anno 2006. Benché siano già disponibili in letteratura numerosi studi a sostegno di efficaci metodiche di modellazione del bilancio idrico (Provincia di Pordenone, 1997; Allen *et al.*, 1998; Campi *et al.*, 2003; Cicogna *et al.*, 2008a, 2008b; Autorità di Bacino, 2004, 2010), in questo lavoro si è voluto adottare un approccio innovativo basato sulla presenza contemporanea nel medesimo approccio delle seguenti caratteristiche:

- determinazione dell'assetto colturale e della sua ricorsività negli anni a partire da dati telerilevati;
- rappresentazione pedologica basata sulla cartografia regionale a maggior dettaglio disponibile;
- dati di pioggia ed evapotraspirazione sovrapponibili ai periodi di acquisizione delle immagini e interpolati tramite algoritmo *Kriging lineare*;
- iterazione del modello con passo pentadico;
- valutazione dell'evoluzione dell'esigenza irrigua in conseguenza di scenari di cambiamento climatico.

Pertanto, le risultanze che ne derivano sono una stima molto attendibile della situazione effettiva in un tempo definito. Lo studio è stato sviluppato quasi interamente in ambiente GIS adoperando strumenti di analisi spaziale e sfruttando gli strumenti per la modellazione messi a disposizione dal software (ESRI ArcGIS 9.2®).

MATERIALI E METODI

Area di studio

L'area di studio oggetto del presente lavoro si colloca nell'Alta Pianura Veneto-Friulana, compresa tra il sistema pre-alpino e sub-alpino collinare e il limite superiore della fascia delle risorgive. Al suo interno ricade parte del territorio delle province di Treviso, Padova, Vicenza, Venezia, Pordenone, Udine e Gorizia, per un'estensione totale di circa 3100 km² (Fig. 1). La porzione di territorio in esame è sede dell'acquifero freatico indifferenziato che alimenta, più a sud, il complesso sistema multifalde della bassa pianura, identificando un'importante area di ricarica della falda sotterranea.

Bilancio idrico colturale

Il bilancio idrico colturale è stato calcolato nell'area di studio con risoluzione spaziale di 30x30 metri e passo temporale pentadico (5 giorni).

Il calcolo è rappresentato dall'equazione di bilancio idrico che individua e computa gli apporti idrici nell'unità di suolo e di tempo. La risoluzione dell'equazione è avvenuta utilizzando un modello appositamente strutturato in ambiente GIS e basato sull'analisi raster, che applica l'espressione pixel per pixel nell'unità di tempo. Il calcolo è stato eseguito iterativamente sulle 18 pentadi estive dell'anno e considerando ad ogni passaggio i dati in ingresso di pioggia, evapotraspirazione e la riserva idrica del suolo registrata al passaggio precedente. L'equazione di bilancio adottata, in cui è stato esplicitato un termine utile per determinare l'idroesigenza della coltura (deficit idrico) è la seguente:

$$D_n = P_n - (k_{c_n} ETp_n) + Ru_{(n-1)} - R - I_n, \text{ dove:}$$

- n** = pentade di calcolo
- n-1** = pentade precedente
- D_n** = deficit/surplus idrico alla pentade n (mm).
- P_n** = precipitazione cumulata pentadica (mm).
- ETp_n** = evapotraspirazione potenziale cumulata pentadica (mm), definita come la quantità massima di acqua che può perdere, per evaporazione e traspirazione, il terreno coperto di vegetazione fitta, bassa e omogenea in condizioni di definite disponibilità energetiche, nell'unità di tempo (Bianchi *et al.*, 1990).
- k_{c_n}** = coefficiente colturale pentadico, termine che viene impiegato per ricondurre ETp all'evapotraspirazione massima di una data coltura, riassumendo gli effetti legati alle caratteristiche strutturali, fisiologiche, fenologiche delle diverse specie (Allen *et al.*, 1998; Regione Emilia Romagna, 2007).
- Ru_(n-1)** = riserva utile effettiva del suolo (mm) valutata per ogni pentade sulla base del bilancio alla pentade precedente e della capacità idrica del terreno. La metodologia di determinazione dello spessore di suolo è meglio definita più avanti.
- R** = quota dell'apporto meteorico perso per ruscellamento superficiale, stimata mediante un metodo semplificato che considera la sola pendenza: R è calcolato a partire da P mediante un coefficiente **Ci** (AA.VV., 1999; Mariani and Cicogna, 2007):
R = cP, dove:
c = 0.7 * (0.0797 * ln(S) + 0.0128)
Con **S** = pendenza % del terreno.

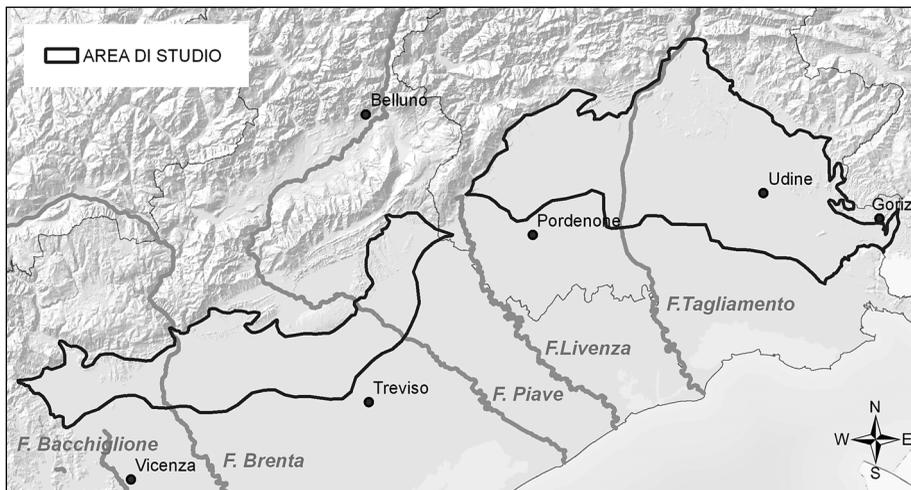


Fig. 1 - Area di studio. L'alta pianura veneto-friulana si estende per circa 3000 km² interessando la zona centro-orientale del Veneto e la parte centro-meridionale del Friuli-Venezia Giulia.

Fig. 1 - Study area. Upper Veneto and Friuli plain covers about 3000 km² and is located in central and eastern Veneto and the south central part of the Friuli-Venezia Giulia region.

Per pendenze inferiori all'1%, condizione predominante visto il carattere prevalentemente pianeggiante dell'area, Ci è assunto pari a zero. Il calcolo del coefficiente di ruscellamento è stato messo a punto sulla base di un modello digitale del terreno (DEM).

I_n = eventuali perdite per infiltrazione profonda (mm), determinate da surplus idrico rispetto alla capacità di campo del suolo.

Nell'equazione è stato trascurato il contributo irriguo con l'obiettivo di stimare l'effettiva idroesigenza al netto degli apporti artificiali.

Per l'elaborazione degli input climatici sono stati considerati i dati di pioggia ed evapotraspirazione potenziale (Penman-Monteith) di 48 stazioni delle reti regionali Friuli Venezia Giulia – OSMER e ARPA Veneto. I dati, rilevati a livello giornaliero, sono stati cumulati a scala pentadica e spazializzati nell'area di studio al fine di ottenere la completa copertura della superficie di indagine. L'interpolazione spaziale è stata realizzata con algoritmo *Kriging lineare* su griglie a maglia quadrata regolare con passo 300 metri, adottando volta per volta la miglior funzione approssimante il variogramma sperimentale e in assenza di *nugget effect*, in modo da trattare in senso conservativo i valori puntuali reali (Portolan *et al.*, 2008; Hengl, 2007; Fiorenza *et al.*, 2008). Nei rari casi in cui l'algoritmo *Kriging lineare* non è risultato ottimale (ovvero nei casi con numerose stazioni a precipitazione pentadica nulla) si è scelto di utilizzare come algoritmo l'inverso della distanza pesata (*IDW*), che ha consentito una miglior rappresentazione del fenomeno. Le griglie prodotte sono state ricampionate infine alla risoluzione di 30 metri.

La capacità idrica utilizzabile del suolo (AWC), impiegata per definire Ru_n , è stata ricavata dalla Carta dei

Suoli del Veneto ARPAV e dal Sistema Informativo pedologico di ERSA-Friuli Venezia Giulia. Gli elaborati in questione identificano e caratterizzano i terreni per unità cartografiche (delineazioni della carta che presentano lo stesso suolo o la stessa distribuzione di suoli) fornendo fra le altre numerose informazioni anche l'AWC ad una profondità standard di suolo (1m per il Friuli e 1,5 m per il Veneto), la caratterizzazione del profilo e le limitazioni all'approfondimento radicale. Per singola unità cartografica, la capacità idrica utile alle radici è stata determinata sulla base delle caratteristiche strutturali, tessiturali e di limitazione all'approfondimento radicale dei profili pedologici: tali dati sono stati mediati nell'unità cartografica tenendo conto dell'abbondanza relativa dei suoli che ne fanno parte (ARPAV, 2005; Michelutti *et al.*, 2003, 2006). In tale modo è stato possibile differenziare le unità di suolo, a livello cartografico, a seconda del grado di capacità idrica. Le informazioni ricavate in tale fase sono state rappresentate in una carta raster della capacità idrica utilizzabile dalle radici, impiegata come dato di input nel modello GIS.

L'infiltrazione profonda I_n è stata determinata come output sulla base del valore del bilancio, solo nei casi di surplus idrico rispetto alla capacità di campo, una volta computato il consumo evapotraspirativo.

Mappe culturali

Il bilancio idrico è stato calcolato esclusivamente sulle porzioni di suolo interessate dalle principali colture irrigue estive dell'area (mais, prato, soia, vite). Le colture sono state mappate mediante tecniche di telerilevamento su immagini estive acquisite dal satellite LANDSAT5/TM, che consentono di ottenere mappe di uso del suolo alla risoluzione spaziale di 30 metri. Le immagini digitali sono state classificate con metodo su-

pervisionato, adottando un algoritmo *Support Vector Machine* (Gomasca, 1997, 2004) integrato in un Modello Base di Conoscenza (Rohde, 1978; Baruffi *et al.*, 2005). Per l'analisi e la classificazione delle immagini satellitari è stato utilizzato il software ITT ENVI 4.6®. La metodica prevede che il sistema tradizionale di applicazione dell'algoritmo di classificazione sia integrato con procedure alternative basate sulle conoscenze dell'operatore esperto, con lo scopo di minimizzare l'errore nella classificazione. Tali procedure comprendono tecniche di mascheramento spaziale e spettrale. Le prime hanno previsto la suddivisione dell'ampio territorio di indagine in aree più piccole e omogenee dal punto di vista delle proprietà spettrali delle colture presenti, da classificare indipendentemente l'una dall'altra. Il mascheramento spettrale si basa invece sull'uso di indici spettrali che consentono di evidenziare e discriminare il suolo coltivato da aree non agricole, sottraendo a priori al classificatore le porzioni di suolo non attinenti lo studio (corpi idrici, aree urbane, superfici impermeabilizzate, suolo nudo). Si ottiene così al tempo stesso una riduzione dei tempi di processamento ed un aumento dell'accuratezza della classificazione. Una volta completata la classificazione sono state svolte delle verifiche sia di verità a terra attraverso l'utilizzo di immagini coeve ad alta definizione, sia tramite l'analisi della matrice di confusione che confronta la classe di appartenenza osservata con la categoria di assegnazione nell'immagine classificata. L'integrazione di queste procedure ha portato alla produzione di mappe colturali ad elevata significatività (Fig. 2), in cui l'errore di classificazione è minimo rispetto a quanto è possibile ottenere nello stesso contesto con classificatori alternativi (Tab. 1). Per quanto riguarda le colture foraggiere, il riconoscimento attraverso firma spettrale non ha consentito il discernimento tra le diverse specie che pertanto sono state raccolte in un'unica fami-

Classificatore	Accuratezza Totale %	Coefficiente K di Cohen
ED	62.9	0.552
MD	72.3	0.669
SAM	77.5	0.694
ML	80.2	0.726
SVM	84.6	0.753
MBC	92.6	0.865

Tab. 1 - Accuratezza totale ottenuta con i diversi tipi di classificatore disponibili (ED=Euclidean Distance; MD=Mahalanobis Distance; SAM=Spectral Angle Mapper; ML=Maximum Likelihood; SVM=Support Vector Machine; MBC=Modello Base di Conoscenza).

Tab. 1 - Total accuracy achieved with different available classification algorithms.

glia. D'altronde tale approssimazione è confortata dai valori di Kc non molto differenti tra le varie specie foraggiere. Per quanto riguarda le altre colture irrigue va detto che seppur presenti, la loro identificazione data la scarsa incidenza in termini di superficie, non è significativamente rilevante ai fini dello studio. Per la mappatura della vite, non identificabile mediante analisi spettrale a causa dell'incompatibilità della distribuzione dei filari con la risoluzione spaziale dell'immagine, sono stati utilizzati dati dei catasti viticoli regionali. Associando ad ogni coltura e per ogni pentade il rispettivo coefficiente culturale come fornito dall'ARPAV, le mappe ottenute sono state riclassificate in mappe pentadiche dei Kc. L'impostazione dello studio non ha permesso l'identificazione tramite telerilevamento dello stadio fenologico effettivo delle colture; per tanto si è resa necessaria una semplificazione della situazione colturale ipotizzando la contemporaneità di sviluppo vegetativo per tutti gli appezzamenti in cui si presentano le colture. Tale approssimazione risulta comunque compatibile con l'ampia scala territo-

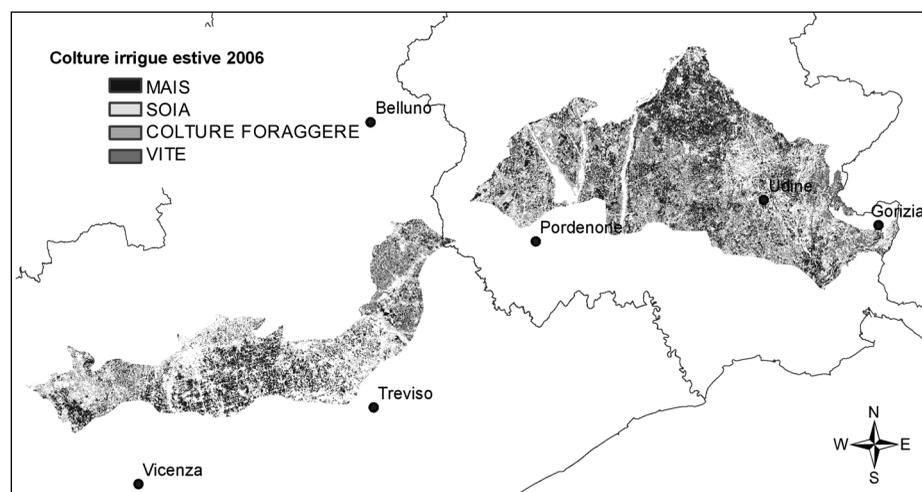


Fig. 2 - Mappa colturale anno 2006. Sono riportate le principali colture irrigue estive dell'area, identificate e mappate mediante telerilevamento e sovrapposizione di dati da catasto viticolo regionale.

Fig. 2 - Crop map (summer 2006). The map shows main summer irrigated crop in the study area, identified and mapped by remote sensing and data from regional vineyard registers.

riale dello studio ed introduce un fattore di sicurezza nel calcolo dei fabbisogni idrici in quanto simula che l'esigenza massima di acqua per ogni coltura avvenga nello stesso momento. Futuri sviluppi dello studio potranno affinare questa semplificazione.

Implementazione del bilancio idrico colturale

L'implementazione del calcolo è avvenuta trattando gli input agronomici, meteorologici e pedologici come piani informativi georeferenziati caratterizzati dalla stessa risoluzione spaziale e quindi dalla possibilità di incrociare le informazioni pixel per pixel.

Il modello di bilancio, iterato sulle 18 pentadi annuali, restituisce ad ogni passaggio un valore D_n che per il singolo pixel può assumere valore negativo oppure positivo/nullo, situazioni interpretabili, rispettivamente, come deficit idrico o soddisfazione delle idroesigenze.

Un D_n positivo può indicare il verificarsi di infiltrazione profonda se il suo valore supera la capacità di campo del suolo; in tal caso l'infiltrazione profonda è pari alla differenza tra D_n e AWC, mentre la riserva utile alla pentade successiva è pari all'AWC. In queste condizioni la coltura ha ricevuto l'apporto idrico necessario e il terreno è stato riportato alla riserva idrica massima. Per D_n positivo e inferiore alla capacità di campo, la riserva utile Ru_n è pari al valore di D_n . Il verificarsi di deficit idrico (D_n negativo) comporta invece l'azzeramento di Ru_n . In questo caso la coltura non vede soddisfatto il proprio fabbisogno idrico e si registra un deficit pari, in valore assoluto, al valore di D_n .

L'equazione di bilancio permette di individuare anche gli stress idrici potenziali, rivelando se la coltura che soddisfa le proprie esigenze idriche (D_n positivo) sopporta una situazione di stress oppure si mantiene in condizioni ottimali: un valore del bilancio inferiore a circa 1/3 della capacità di campo corrisponde al consumo di riserva idrica non facilmente utilizzabile, condizione che comporta stress per la coltura (Giardini, 1992; Bertolacci, 2004). Il verificarsi di tale condizione nella realtà comporta solitamente l'intervento irriguo, aspetto che nel modello non è stato considerato.

Il modello per l'implementazione del bilancio è stato costruito in ambiente GIS (ESRI ArcGIS 9.2®) sfruttando gli strumenti resi disponibili all'interno dell'applicativo *Model Builder*. Le operazioni di calcolo tra i parametri dell'equazione di bilancio espressi da dati georeferenziati rasterizzati e iterate per le 18 pentadi estive, sono state

progettate ed eseguite attraverso tale applicativo. Il costruito del modello è rappresentato schematicamente in una delle 18 ripetizioni in Fig. 3: le ellissi simboleggiano i parametri in ingresso, i prodotti intermedi e finali, i rettangoli simboleggiano le operazioni di calcolo e le frecce esprimono il flusso di informazioni.

L'adozione di un modello di calcolo iterativo permette di considerare nel bilancio di una singola pentade le condizioni di riserva idrica del terreno risultanti dal calcolo alla pentade precedente e rappresentate dal termine Ru : ad ogni iterazione il valore di Ru in uscita alla pentade n è riportato in input alla pentade $n+1$. Alla prima risoluzione dell'equazione (1° pentade di giugno) non potendo disporre di un valore predeterminato di riserva idrica, ad Ru è stato assegnato il valore di AWC, assumendo cioè che il terreno si trovi a capacità di campo (CC).

Cambiamento climatico: previsione futura

In accordo con le finalità del progetto TRUST sono state realizzate delle previsioni per il XXI secolo, a scala trimestrale, basate sui trend di pioggia ed evapotraspirazione potenziale (formula Hargreaves-Samani) elaborati sull'area mediterranea dal Centro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC) secondo lo scenario climatico IPPC A1B per il periodo 2000-2100.

La disponibilità di modelli per la simulazione dell'evoluzione climatica futura consente di ottenere serie di dati relative a previsioni a lungo termine delle principali variabili meteorologiche, e dunque di effettuare simulazioni del bilancio idrico colturale sotto la forzante climatica considerata. Come illustrato e discusso in dettaglio in Gualdi *et al.* (2010), il modello sembra catturare molto bene le caratteristiche stagionali osservate con riferimento alla temperatura superficiale e precipitazioni.

I dati previsionali a disposizione sono elaborati su aree ampie e strutturati su risoluzioni spaziali e temporali idonee per l'analisi climatologica, mentre risultano di non immediata applicazione nel modello di bilancio colturale qui presentato. Un impiego efficace dei dati in questione può essere però realizzato lavorando su cumulazioni stagionali e valutando le stime delle variabili di bilancio in termini di valori medi nell'area.

In questa fase dello studio è stata dunque adottata una metodologia di determinazione del deficit idrico estivo di previsione futura (D_{PET}) basata su valori cumulati trimestrali. Tale assunzione, inevitabilmente, sconta l'incapacità di considerare la di-

istribuzione temporale delle piogge, il contributo della riserva idrica del terreno e l'infiltrazione trascurando l'effetto delle dinamiche di accumulo e utilizzo idrico sulla soddisfazione delle idroesigenze colturali. Per poter confrontare D_{PFT} con le risultanze del modello pentadico su dati reali (D_{RP}), si è reso necessario pertanto calcolare un deficit idrico cumulato trimestrale su dati reali (D_{RT}) e determinare la seguente relazione:

$$D_{RT}/\Sigma(D_{RP}) = K$$

dove $\Sigma(D_{RP})$ è la sommatoria del deficit per le 18 pentadi del trimestre. K è un coefficiente utilizzato per correggere D_{PFT} come segue:

$$D_{PFTC} = D_{PFT}/K$$

con D_{PFTC} deficit di previsione futura corretto.

I due modelli di calcolo, l'uno basato su passo pentadico e l'altro su una cumulazione trimestrale, applicati allo stesso anno, producono mappe del deficit cumulato estivo i cui valori mostrano uno scostamento variabile. Per poter determinare un parametro sintetico rappresentativo dello scostamento medio rilevato nell'area in esame e che possa essere agevolmente applicato nella valutazione della previsione futura, i valori di D_{RT} , D_{RP} e, conseguentemente, K , sono determinati come valori medi nell'area di studio.

Per il 2006, scelto come base per la prima applicazione della metodologia e con R_u iniziale pari ad AWC, il valore di K nell'area è stato pari a 0.64. tale valore fornisce indirettamente anche una stima dell'accuratezza del modello a scala pentadica rispetto al modello a scala trimestrale.

Le elaborazioni realizzate sulla base delle simulazioni climatiche per il XXI secolo hanno preso in considerazione le proiezioni di precipitazione ed evapotraspirazione potenziale corrispondenti al

periodo di picco minimo di pioggia cumulata estiva atteso nell'area di studio all'interno dell'arco temporale 2010-2100. La stima di D_{PFT} è stata effettuata dunque a partire dallo scenario climatico più svantaggioso per l'approvvigionamento idrico delle colture, in esito alle migliori simulazioni a disposizione allo stato di realizzazione del presente studio. Inoltre, essendo stata verificata la stabilità degli assetti colturali per il 2003, 2006 e 2007 e non essendo possibile produrre una previsione dell'assetto colturale futuro, l'elaborazione è stata effettuata su uno degli scenari colturali reali tra quelli effettivamente riscontrati (2006) e, per la singola coltura, considerando i valori di K medi estivi.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Modellazione del bilancio idrico su dati reali

Applicando il modello di calcolo del bilancio idrico colturale per ciascun anno di indagine si sono ottenute mappe pentadiche di deficit irriguo, infiltrazione profonda, riserva idrica e degli stress idrici potenziali. Cumulando i deficit pentadici e l'infiltrazione profonda pentadica si sono ricavate mappe stagionali dei due parametri (es. Figg. 4 e 5). I risultati sono stati confrontati con gli studi dalla Regione Friuli Venezia Giulia (Cicogna *et al.*, 2008a, 2008b) realizzati sul quarantennio 1961-2000 nel territorio pordenonese e goriziano, i quali riportano valori medi annuali di deficit per prato, mais e vite in alta pianura del tutto confrontabili.

L'approccio adottato nel presente lavoro permette una buona rappresentazione spazio-temporale dei flussi idrici nel suolo coltivato, mostrando la dipendenza della variabile deficit dalle grandezze climatiche e, nel contempo, l'effetto di situazioni

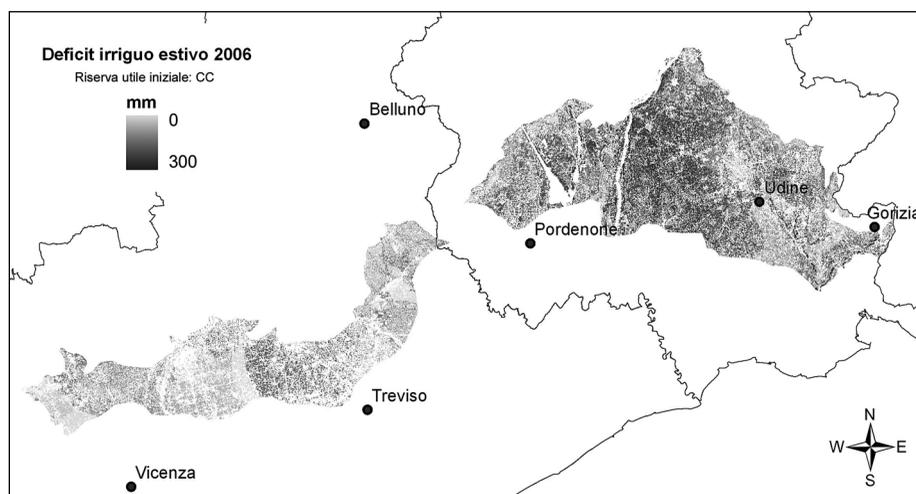


Fig. 4 - Deficit irriguo cumulato estivo stimato per l'anno 2006. La mappatura del deficit è ottenuta per cumulazione dei dati pentadici ottenuti dall'iterazione del modello. L'ipotesi iniziale considerata è un terreno a capacità di campo (CC).

Fig. 4 - Accumulated irrigation water deficit - summer 2006. Summer deficit shown here has been calculated by aggregation of 5-days output of the model. The starting point for the implementation is the soil at field capacity (CC).

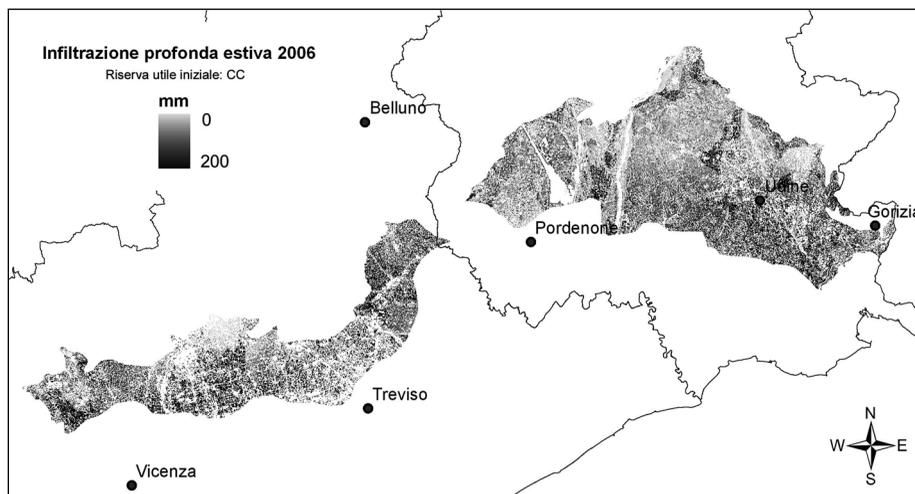


Fig. 5 - Infiltrazione profonda cumulata estiva stimata per l'anno 2006. La mappatura dell'infiltrazione è ottenuta per cumulazione dei dati pentadici ottenuti dall'iterazione del modello. L'ipotesi iniziale considerata è un terreno a capacità di campo (CC).

Fig. 5 - Accumulated deep infiltration - summer 2006. Summer infiltration shown here has been calculated by aggregation of 5-days output of the model. The starting point for the implementation is the soil at field capacity (CC).

pedologiche diverse. In particolare, emerge in modo evidente l'effetto della scarsa profondità e capacità idrica dei suoli friulani. Infatti, a fronte di assetti colturali e volumi di precipitazione bilanciati nelle due regioni, ed esigenze evapotraspirative poco maggiori nell'alta pianura friulana, risultano deficit e infiltrazione molto superiori nel territorio friulano (Tab. 2).

In considerazione della brevità del periodo interessato dalle elaborazioni (18 pentadi), è interessante indagare il peso del contributo di Ru alla prima pentade di giugno, il cui valore reale non era conosciuto. Si è operato pertanto un confronto con i risultati delle medesime elaborazioni ripetute assumendo una situazione di iniziale opposta, ovvero di terreno al punto di appassimento permanente (CA). L'importanza quantitativa dalla riserva idrica iniziale è dimostrata dai dati di Tab. 2, che riportano anche alcune indicazioni sintetiche circa la variabilità dei dati di deficit e infiltrazione profonda cumulati estivi ottenuti sotto le due diverse assunzioni. L'incremento del deficit idrico nell'area, nell'ipotesi di suolo a condizioni iniziali di riserva nulla, si colloca sul 55%, con un aumento molto marcato nella macroarea veneta e più contenuto in quella friulana, a riflettere ancora la maggiore capacità idrica dei suoli veneti. L'osservazione di entrambi i casi dà un'indicazione degli estremi in cui la situazione reale è verosimilmente compresa e fornisce utili indicazioni circa il ruolo dal grado di umidità del suolo ad inizio stagione nel determinare l'andamento delle esigenze irrigue stagionali a partire. Future applicazioni del modello dovranno prevedere anche la conoscenza dell'umidità iniziale dei suoli per restituire una stima più approfondita del deficit irriguo.

Cambiamento climatico ed evoluzione del deficit

Dalle prime elaborazioni realizzate si sono ottenute delle buone approssimazioni circa l'influenza dell'andamento climatico sul fabbisogno irriguo, anche se ciò è stato possibile grazie a delle azioni di correzione volte a superare i limiti connessi alla natura del dato meteorologico.

A titolo esemplificativo, si riporta la scarsa capacità dei modelli di previsione di riprodurre condizioni locali quali i fenomeni convettivi responsabili di buona parte dei temporali estivi. La previsione di minor piovosità riferisce di fatto valori di piovosità cumulata estiva estremamente bassi (range 22-90 mm) se raffrontati ai valori medi (range 250-500 mm) riportati in alcuni studi climatologici relativi al periodo 1961-1990 (Autorità di Bacino, 1995). Con queste premesse e applicando il metodo presentato è stato dunque stimato un deficit idrico di previsione futura corretto D_{PFTC} dell'ordine di quattrocento millimetri, inteso come valore medio nell'area di studio (Tab. 2).

In linea generale, dalle osservazioni svolte, l'idroresistenza risulta condizionata fortemente dal decremento della piovosità, mentre trascurabile è l'effetto delle variazioni dell'evapotraspirazione potenziale, variabile che le simulazioni sotto la forzante climatica mostrano con variazioni contenute. Sono in corso ulteriori verifiche e affinamenti del modello previsionale impiegato per la simulazione climatica e della metodologia di applicazione dei dati meteo ottenuti al bilancio idrico colturale.

CONCLUSIONI

Il modello di bilancio qui presentato consente di ottenere un buon livello di dettaglio nell'indagine dei fenomeni, in quanto utilizza dati a scala tem-

	VENETO			FRIULI VENEZIA GIULIA			TOTALE AREA DI STUDIO
Area di studio (kmq)	1169			1912			3082
Superficie coltivata (kmq) 2006	422			926			1348
	min	med (dev.sta)	max	min	med (dev.sta)	max	med (dev.sta)
P cumulata estiva (mm) 2006	240	308	450	207	312	405	311
ETp cumulata estiva (mm) 2006	376	395	424	394	433	488	418
AWC a profondità radicale (mm)	10	102 (51)	219	8	70 (45)	300	82(50)
Coefficiente di Ruscellamento Ci	0	0.037 (0.05)	0.274	0	0.031 (0.04)	0.304	0.033 (0.05)
Deficit cumulato estivo 2006 (mm) (*)	0	77 (51)	224	0	163 (54)	270	136 (67)
Infiltrazione cumulata estiva 2006 (mm) (*)	0	34 (29)	198	0	65 (39)	187	55 (39)
Deficit cumulato estivo 2006 (mm) (**)	49	173 (35)	246	72	228 (38)	284	211 (45)
Infiltrazione cumulata estiva 2006 (mm) (**)	0	28 (28)	154	0	60 (37)	185	50 (38)
PREVISIONE FUTURA							
P cumulata estiva (mm) - siccitoso 2010-2100	22	44 (11)	70	28	53 (9.8)	90	50 (11)
ETp cumulata estiva (mm) - siccitoso 2010-2100	285	359 (30)	400	294	366 (21)	398	364 (25)
D _{EFF} (mm) (*)							284 (46)
D _{EFFC} (mm) (*) (K=0,64)							444

Tab. 2 - Sintesi dei dati di input e dei principali output per l'anno 2006 e delle stime di deficit irriguo estivo di previsione futura calcolato sulla base di proiezioni CMCC di precipitazione ed evapotraspirazione potenziale relative al periodo più siccitoso atteso nell'area di studio nell'arco temporale 2010-2100 (* 1° pentade a CC; ** 1° pentade a CA).

Tab. 2 - Primary model input and output data for year 2006 and estimates of expected future irrigation water deficit. Future deficit calculation is based on meteo-climatic CMCC projections related to most drought summer in 2010-2100 period over case study area. (1st step at field capacity; ** 1st step at wilting point).*

porale ridotta e una risoluzione spaziale adeguata a rappresentare le singole unità colturali sul territorio.

La cumulazione pentadica consente in particolare una buona rappresentazione delle dinamiche di scambio idrico nel suolo, costituendo peraltro un periodo di osservazione omogeneo dal punto di vista fenologico e compatibile con i tempi delle pratiche irrigue. La rappresentazione dei fenomeni scelta ha dunque una buona significatività, garantita dall'utilizzo di dati reali, ed una evidente utilità pratica.

L'applicazione dello studio a più anni di indagine climaticamente differenti ha consentito tra l'altro di verificare una certa stabilità degli assetti colturali, che nei tre periodi di indagine mostrano proporzioni poco differenti delle specie, indicando la rappresentatività delle realtà colturali riscontrate per l'area di indagine.

Il modello presentato permette in ogni caso un'iterazione del calcolo rapida, automatica e ripetibile, risultando facilmente adattabile a dati in ingresso di dimensione spazio-temporale diversa. La possibilità di gestire agevolmente dati climatici e pedologici differenti lo rende inoltre un efficace strumento per l'analisi della sostenibilità: da un lato è possibile valutare l'intervallo di va-

riabilità climatica entro cui uno specifico assetto colturale risulta sostenibile, dall'altro, con l'ausilio delle migliori simulazioni climatiche a disposizione, si è potenzialmente in grado di operare previsioni che possono fungere da valido supporto nella pianificazione di settore.

BIBLIOGRAFIA

- A.A.V.V., 1999. Runoff coefficients for undeveloped areas watershed types. Highway Design Manual Topic 819 - Estimate Design Discharge, California St. Dept. of Transp.
- 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.
- Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, 1995. Programma degli studi finalizzati alla redazione dei piani di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione. Caratterizzazione delle risorse idriche – Climatologia.
- Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, 2004. Studio delle esigenze idriche delle principali

colture irrigue nella pianura del medio corso del Piave.

- Autorità di Bacino del fiume Adige, 2010. Monitoraggio e calcolo del Fabbisogno idrico in campo agricolo nei territori irrigati dal fiume Adige.
- Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Veneto, Regione Veneto, 2005. Carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000.
- Baruffi F., Bisaglia M., Cappelletto M., Zandonella A., 2005. Crop classification and crop water need estimation of Piave river basin by using MIVIS, Landsat-TM/ETM+ and ground climatological data. Atti del "11th Int. Symposium on Remote Sensing, SPIE", Bruges, Belgium, 19-22.9.2005.
- Bertolacci M., 2004. Nozioni elementari e applicazioni pratiche di tecnica irrigua. Quaderno ARSIA 5/2004, ARSIA Regione Toscana, Firenze: 125.
- Bianchi P.G., Castelli P.G., Cen., 1990. Manuale di Agricoltura. HOEPLI, Milano.
- Campi P., Colucci R., Di Bari V., Marrone G., Mastorilli M., 2003. Volumi irrigui in relazione all'andamento meteorologico registrato durante le stagioni di crescita di alcune colture erbacee. Workshop "CLIMAGRI – Cambiamenti Climatici e Agricoltura" Cagliari, Italia, 2003.
- Cicogna A., Barbieri S., Michelutti G., Bianco D., 2008a. Carte di deficit idrico e giorni di stress idrico delle Province di Gorizia e Trieste. Ed. ERSA FVG.
- Cicogna A., Barbieri S., Michelutti G., Bianco D., 2008b. Carte di deficit idrico e giorni di stress idrico della pianura e delle colline del pordenonese. Ed. ERSA FVG.
- Fiorenzo F., Mancino G., Borghetti M., Ferrara A., 2008. Metodi per l'interpolazione spaziale delle precipitazioni e delle temperature mensili della Basilicata. *Forest@ 5*: 337-350.
- Giardini L., 1992. *Agronomia Generale, ambientale e aziendale*. Patron Ed., Bologna, 774 pp.
- Gomarasca M. A., 1997. Introduzione a telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole e ambientali. Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano.
- Gomarasca M. A., 2004. *Elementi di Geomatica*. Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano.
- Gualdi S., Scoccimarro E., Bellucci A., Oddo P., Sanna A., Fogli P.G., Vichi M., Manzini E., Navarra A. 2010. Regional climate simulation with a global high-resolution coupled model: the Euro-Mediterranean case. *Climate Dynamics*, submitted.
- Hengl, T., 2007. A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables. EUR 22904 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Mariani L., Cicogna A., 2007. Il Clima. In: Michelutti G., Failla O., Cicogna A. (a cura di) *Suoli e Vigneti Collio Cloame suolo all'origine della qualità del vino*. Ed. ERSA FVG, Gorizia.
- Michelutti G., Zanolla S., Barbieri S., 2003. *Suoli e paesaggi del Friuli Venezia Giulia*. 1. Pianure e colline del pordenonese. Ed. ERSA Friuli Venezia Giulia.
- Michelutti G., Barbieri S., Bianco D., Zanolla S., Casagrande G., 2006. *Suoli e paesaggi del Friuli Venezia Giulia*. 2. Province di Gorizia e Trieste. Ed. ERSA Friuli Venezia Giulia.
- Portolan V., Colombo M., Toller G., Campa M., Eccel E., 2000. Variabilità climatiche in una valle alpina: applicazioni in agrometeorologia su Gis. Workshop "Geostatistica per lo studio e la gestione della variabilità" Università degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria, Febbraio 2000.
- Provincia di Pordenone, 1997. Studio sulla consistenza e sulle caratteristiche delle risorse idriche del territorio provinciale finalizzato alla attività di protezione e di corretta gestione delle stesse.
- Regione Emilia-Romagna - Assessorato Agricoltura, Consorzio di Bonifica di 2° Grado per il canale Emiliano Romagnolo, 2007. Il risparmio dell'acqua in Agricoltura. Paolo Pirani (a cura di). Supplemento ad *Agricoltura* n. 4.
- Rohde W. G., 1978. Improving Landsat cover classification by image stratification of Landsat data. 12-th Int. Symp. On Remote Sensing of environment, Vol. 1, ERIM, Manila, Philippines.

Some considerations on the productivity of the agriculture in Tamghat Valley (Nepal): the case of rice

Simone G. Parisi^{1*}, Mario Bianco², Luigi Mariani¹

Abstract: Many developing countries present a very low agricultural productions, being of bare subsistence and occupying most of the population. A crop simulation model with a monthly time step was adopted to highlight the possibilities of intensification of rice crop production in the Tamghat Valley (Nepal). Results show that production without limitations due to nutrients, pests and diseases is of about 6 t ha⁻¹, with a remarkable inter-yearly steadiness. This value is significantly higher than real production, which is currently below 2.8 t ha⁻¹. This relevant difference is probably the result of limitations due to pests and nutrients and also to an obsolete park variety. Hence an improvement in agro-technique and genetics is desirable to increase the yields.

Keywords: Paddy rice, productivity, monsoon climate, Nepal.

Riassunto: Molti paesi in via di sviluppo presentano una produttività agricola molto bassa, di pura sussistenza e che impegna gran parte della popolazione. Un modello di simulazione di produttività con un passo temporale mensile è stato adottato per evidenziare la possibilità di intensificare la produzione di riso nella Valle di Tamghat (Nepal). I risultati mostrano che la produzione, senza limitazioni dovute a nutrienti, parassiti e malattie è di circa 6 t ha⁻¹, con una notevole stabilità interannuale. Questo valore è significativamente più elevato rispetto alla produzione reale, attualmente inferiore a 2,8 t ha⁻¹. Questa rilevante differenza è probabilmente il risultato di limitazioni legate ai parassiti e alle sostanze nutritive, cui si aggiungono i problemi legati ad un varietale obsoleto. Pertanto un miglioramento nelle agrotecniche e nelle risorse genetiche è auspicabile per un aumento delle rese.

Parole chiave: Riso in sommersione, produttività, clima monsonico, Nepal.

1. INTRODUCTION

Yoshida (1981) stated at 6 t ha⁻¹ the summer rice potential production in field conditions for subtropical monsoon areas. This value - significantly lower than maxima (13 t ha⁻¹ for mid latitudes, 11 t ha⁻¹ for subtropics) achievable in most favorable climatic conditions - is justified by two main limitations: the insufficient length of the day (generally less than 13-14 hours, compared to maxima of 15 hours and 43 minutes reached at 45 ° of latitude at summer solstice) and the strong cloud coverage that characterizes the monsoon period from May to October (Yoshida, 1981).

Nevertheless the same limit of 6 t ha⁻¹ is often unattainable for developing countries with monsoon climate, characterised by bare subsistence agriculture which employs most part of the population giving rise to a very low productivity. This is the case of Nepal which agriculture employs 65% of the population and achieves the 39% of GDP. The cultivation of rice in Nepal, particularly

relevant for food production, shows an average productivity of 2.8 t ha⁻¹ (FAO, 2010). This production sounds very low if compared with yields allowed by the state-of-art varieties and the most advanced agro-techniques. A report, freely available on Internet, by Uprety (2005) summarizes the situation of Nepal and quotes the following main limitations to the Nepal agriculture productivity :

- a little or null use of chemical fertilizers, often replaced by manures or compost
- an obsolete varietal park with cultivars unable to exploit the intensive fertilization
- the obsolete agro-techniques, with little attention to pest problems (weeds, fungal diseases, insects) and bad practices of transplant, operated on 30-45 days old plants.

The same report quotes examples of farmers who have overcome the above limitations by adopting a method of intensification called SRI (System of Rice Intensification) and obtaining production of about 6 t ha⁻¹. These relevant results are indirectly confirmed by the production of 5 t ha⁻¹ achieved by farmers in the Kathmandu Valley which has the highest application of chemical fertilisers (Pockrel, 1995) and by maximum productions of 4.5 - 5.5 t ha⁻¹ for conventional and SRI rice cropping systems reported

* Corresponding Author email: simone.parisi@unimi.it

¹ Università degli Studi di Milano - DI.PRO.VE - Milano

² Master on land use and water management in developing countries - Stager at ASIA onlus

Received 10 June 2011 accepted 28 June 2011

for Andhra Pradesh – India (Adusumilli and Bhagya Laxmi, 2010).

In Nepal, the lack of irrigation water, especially upon the highland, is an important factor that limits agriculture. During drought periods, farmers counteract this lack of water by means of electric pumps and putting the water inside trenches (Dixit *et al.*, 2009). The work of local and international Non Government Organizations (NGO) had allowed a greater access to drinkable water and to water used for agriculture, improving in this way the health and wealth conditions of the farmers.

Dynamic simulation models are mathematical tools useful to simulate crop growth and yield on the base of a set of driving variables that acts on rate variables ruling the exchanges among different state variables (Mariani and Failla, 2007).

This work has been aimed to show how improved genetics and agro-techniques are able to enhance agricultural production in this area. To obtain this, the rice average productivity of the Tamghat Valley was simulated by means of a dynamic simulation model which describes the cascade of matter triggered by solar radiation. Along this cascade a sequence of limitations are applied in order to attain the final production subdivided among shoots, roots, leaves and fruits.

2. DATA AND METHODS

2.1 Study area and crop available data

The Tamghat Valley, object of this study, is crossed by the Jhiku Khola river and is located in the Kavrepalanchok district, 40 Km from Kathmandu, on the central hills of Nepal (Fig. 1). The agriculture practiced in Kavrepalanchok district uses better

infrastructures and techniques than the ones used in most part of the other rural areas of Nepal. For this reason, the agriculture in Kavrepalanchok district cannot be considered to be only of subsistence but constitutes also business (Hermann and Schumann, 2002).

The hills that surround the Tamghat valley are between 750 and 2100 m above the sea level.

The land inside the valley is classified in two typologies: the first, corresponds to lands located on the bottom of the valley, easy to irrigate via a system of channels; the second, corresponds to lands located on highland where the irrigation is difficult and the soils show a fast drainage, with low values of soil water reservoir.

The cropping systems of the Tamghat valley are founded on vegetables (potatoes, rapes and other kinds of vegetables that provide more than one harvest per year) and cereal crops, mainly wheat, corn and rice. This latter is cultivated during the monsoon season and the fields are located on the bottom of the valley, while the highland, closer to the houses, hosts a larger number of cultivations (especially vegetables) with a more intensive need of work (Hussan and Giordano, 2003).

By the economic point of view, vegetables are partly cultivated for business and vice-versa cereals are mainly cultivated for subsistence. An important consequence of the subsistence character of the rice crop is the absence of statistical data about rice productivity. However in a preliminary way it is possible to say that rice productivity in Tamghat valley is lower than the above-mentioned mean national productivity of Nepal (2.8 t ha^{-1}). This represents a working



Fig. 1 - Nepal map with the location of the Kavrepalanchok district (source: Wikipedia).

Fig. 1 - Mappa del Nepal con la localizzazione del distretto di Kavrepalanchok (fonte: Wikipedia).

hypothesis that is corroborated by knowledge of other areas of the world characterized by subsistence agriculture.

2.2 The agrometeorological model and simulation conditions

The monthly simulation of productivity operates under the following two conditions:

- In absence of water limitation (paddy rice): a thermal limit is applied to a potential radiative base production, considering as absent the limitations of water, nutrient and biotic/abiotic adversity.
- with water limitation (rice in dry): water limitation, defined by a water balance was applied to the previously described scheme.

This latter condition is only theoretical because, inside the area of study, rice is only grown in submersion; however it can be useful to highlight the dry years during the crop cycle due to the lack of monsoon rains.

A monthly meteorological dataset, related to the period 1977-2008 and coming from the Hydrometeorological Service Station located in Panchkhal (Kavrepalanchok district), feed the model. It includes maximum and minimum temperature (T_x , T_n) [$^{\circ}\text{C}$] and rainfall (RR) [mm]. Monthly mean temperature (T_d) [$^{\circ}\text{C}$] is defined as:

$$(1) T_d = (T_x + T_n) / 2$$

The hourly loop of the model, adopted to calculate thermal limitation for rice crop, is fed by hourly temperatures (T_h) [$^{\circ}\text{C}$] produced applying the method of Parton and Logan (1981) to T_x and T_n values of each month. All the outputs obtained on a daily basis have been reported to the single month by multiplying by the number of days.

2.2.1 Climatology of the study area

Analyzing Panchkhal meteorological data is evident that the Tamghat Valley is characterized by a monsoon-type climate, which gives a seasonal mark to the yearly rainfall regime.

An increase of the rainfall during April and May preludes to summer monsoon which reaches his peak during the months of July and August. The start of the monsoon season is relatively gradual, unlike the transition to the dry season (September) is generally more rapid.

Thermal regime shows the monthly minimum in January (mean maximum temperature: 20.6°C , mean minimum temperature: 5.1°C), the monthly maximum in May (average maximum temperature of 32.0°C , average minimum temperature of 20.7°C) and the increase in maximum temperatures

during the summer strongly limited by cloud cover and heavy rainfalls.

2.3 Cardinal temperatures and morphometric variables

Morphometric variables are driven by thermal resources that are calculated taking into account the following set of cardinal temperatures: 7°C as minimum (C_{\min}), 23°C as lower optimum (C_{optl}), 32°C as upper optimum (C_{optu}) and 38°C as maximum (C_{\max}) as reported in table 1 (Yoshida, 1981; Larcher, 1995). More specifically growing degree days (GDD) [$^{\circ}\text{C}$] for a given month with specific number of days (ndd_{mm}) have been obtained by means of the equation:

$$(2) \text{GDD} = \text{ndd}_{\text{mm}} * (T_d - C_{\min})$$

Using GDD summation (GDD_{sum}) [$^{\circ}\text{C}$], the Leaf Area Index (LAI) [m^2/m^2 - dimensionless] for each month is estimated with the empirical equation:

$$(3) \text{LAI} = \text{GDD}_{\text{sum}} / 400$$

LAI values respectively below (LAI_{min} : 0.5) and above (LAI_{max} : 6) the cut-off values are equalised to these cut-off (Tab. 1).

The crop coefficient (Kc) [dimensionless] is estimated by the empirical equation

$$(4) \text{kc} = \text{LAI} / 5.5$$

2.4 The productivity model

The model firstly involves the estimation of the daily global solar radiation (GSR) [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$] with the method of Hargreaves (Allen *et al.* 1998).

The fraction of photosynthetic active radiation (PAR) [moles of photons $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$] intercepted by the crop (APAR) is then obtained by applying the Lambert - Beer law for the interception of radiation by an anisotropic mean (Larcher, 1995) with a value of 0.5 (typical of graminaceous crops) adopted for the extinction coefficient (k_e) [dimensionless]:

$$(5) \text{APAR} = 0.5 * 4.6 * \text{GSR} * (1 - e^{-k_e \text{LAI}})$$

Where 0.5 and 0.46 are respectively the multipliers adopted to convert GSR in PAR and MJ in moles of photons.

The gross assimilation (GASS) [$\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$] is estimated adopting the radiation use efficiency (RUE) [moles $\text{CO}_2 \text{m}^{-2}$] standard value of 0.014 (Choudhury, 2001):

$$(6) \text{GASS} = \text{APAR} * \text{RUE}$$

The potential net assimilation (PNA) [moles $\text{CO}_2 \text{m}^{-2}$] is obtained with:

$$(7) \text{PNA} = \text{GASS} * \text{eg}$$

The multiplier coefficient (eg), assumed equal to 0.7, accounts the losses related to the maintenance respiration and translocation.

The hourly thermal limitation was obtained using the

Parameter	Achronim	Value
Minimum cardinal	Cmin	7 °C
Maximum cardinal	Cmax	38 °C
Lower limit of Optimal range	Coptl	20 °C
Upper limit of Optimal range	Coptu	30 °C
Minimum LAI accepted	LAImin	0.5
Maximum LAI accepted	LAImax	6.0
Latitude	LAT	27°
Longitude	LON	85°
Altitude	Hh	865 m asl
Harvest index	HI	0.4
Maximum water capacity*	Mwc	250 mm
Field capacity*	Fc	200 mm
Wilting point*	Wp	100 mm
Sowing date	Sod	15/4
Transplanting date	Tpd	1/5
Harvest	Hrv	31/8

(*) for the soil layer explored by roots. (*) per lo strato di suolo esplorato dalle radici.

Tab. 1 - Parameters adopted for rice crop simulation.

Tab. 1 - Parametri culturali adottati per la simulazione culturale.

following response curve that produces a coefficient (krtp) [dimensionless] with values between 0 and 1 (values below 0 or above 1 are respectively equalised to 0 and 1):

$$(8) \text{krtp} = -0.0001512270321 \cdot \text{th}^3 + 0.006891188223 \cdot \text{th}^2 - 0.03329786301 \cdot \text{th} - 0.01997994562$$

The values calculated over 24 hours were averaged to obtain a multiplier coefficient that expresses the daily thermal limitation (tl) [dimensionless].

Therefore, the final monthly production thermally limited (NPP) [moles CO₂ m⁻²] is given by:

$$(9) \text{NPP} = \text{tl} \cdot \text{PNA} \cdot \text{ndd}_{\text{mm}}$$

This value is then converted in final values [t ha⁻¹] of coarse rice production adopting as multipliers 30 [atomic weight of CH₂O] to switch from moles of CO₂ to g of dry matter, 10⁻⁶ to convert g in t and 0.4 (Harvest Index) to convert crop weight into useful product weight).

An analogous equation was adopted to calculate the water limited production (NPP) [moles CO₂ m⁻²]:

$$(10) \text{NPP} = \text{tl} \cdot \text{wl} \cdot \text{PNA} \cdot \text{ndd}_{\text{mm}}$$

Where water limitation (wl) has been obtained by means of the algorithm hereafter described.

The hydrologic characters of reservoir are a water content of 200 mm at field capacity (fc) [mm] and 100 mm at wilting point (wp) [mm], which means an Available Water Content (AWC - Total water reservoir between field capacity and wilting point) of 100 mm. The following continuity equation (mass conservation for water) was applied to the soil layer explored by roots (reservoir):

$$(11) \text{WC}_{t+1} = \text{WC}_t + \text{rr} - \text{ET0} \cdot \text{kc} - \text{inf}$$

using the following inputs: the soil water content (WC) [mm], the reference crop evapotranspiration (ET0) [mm] obtained through the method of Hargreaves and Samani (Allen *et al.*, 1998), the rainfall (rr) [mm], the crop coefficient (kc) was used to obtain the crop maximum evapotranspiration (etm) from ET0 and the infiltration loss (inf) [mm] is the water exceeding AWC.

Once obtained, the soil water content at a given time (WC), the water limitation (wl) [dimensionless] is obtained adopting the following algorithm:

$$(12) \text{wl} = (\text{WC} - \text{wp}) / (\text{wccr} - \text{wp})$$

where the threshold of sensitivity to water deficit (wccr) [dimensionless] is obtained with the equation:

$$(13) \text{wccr} = \text{wp} + (1 - \text{dp}) \cdot (\text{fc} - \text{wp})$$

where the soil water depletion factor (dp) [dimensionless] describes the easiness of extracting

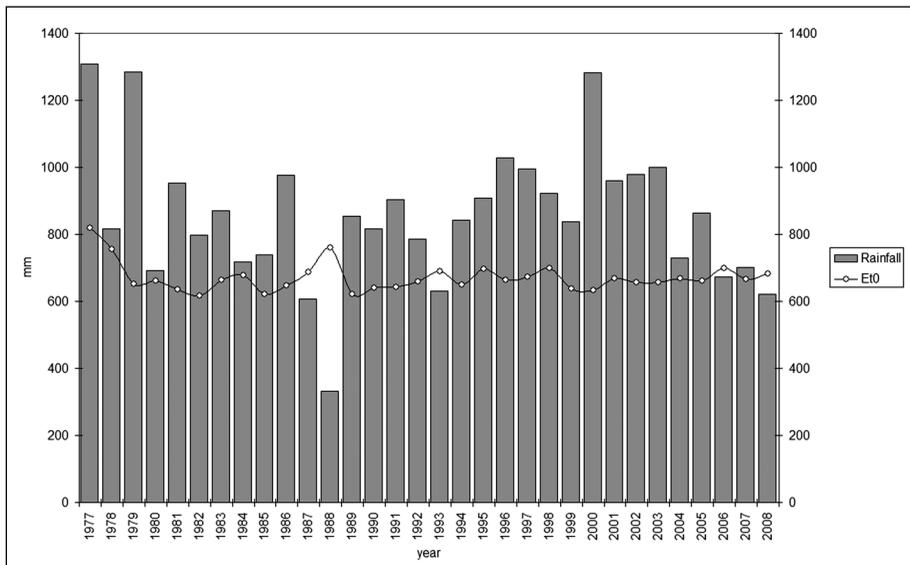


Fig. 2 - Yearly values of rainfall and reference crop evapotranspiration ET0 (mm) of Panchkhal weather station (reference period 1977-2008). The biennial drought 1987-1988 is evident. *Fig. 2 - Valori annui di pioggia ed evapotraspirazione da coltura di riferimento ET0 per la stazione meteorologica di Panchkhal (periodo 1977-2008). Si noti la fase siccitosa del biennio 1987-1988.*

water from the soil (atmospheric water demand) as a function of ET0 and is expressed by the equation: (14) $dp = ts / (ts + ET0)$

In this equation a value of 9 has been assigned to the characteristic potential transpiration rate (ts) [mm/month] (Doorenbos *et al.*, 1978).

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Simulations

The remarkable inter-annual stability of harvest data (average and standard deviations) for the reference period 1977-2008 (Fig. 3) shows one of the more positive aspects of the monsoon climate. The stability is mainly the result of the absence of a trend in main meteorological driving variables (Fig. 2).

However the monsoon climate reduce also the light

energy available to plants, when thermal conditions are often optimal for photosynthesis (Williams and Joseph, 1970) and water stress is absent.

The annual average production of paddy rice for 1977-2008 period has been 5.7 t ha⁻¹, with a standard deviation of 0.20 t ha⁻¹. Compared to that, rainfed crop has shown a very limited reduction in average yields with annual average production of 5.4 t ha⁻¹ and standard deviation of 0.91 t ha⁻¹. Nevertheless this reduction (Fig. 3) is relevant on the period 1987-1988, characterized by a delayed onset of monsoon with quite low summer rainfall in the northern part of the Indian subcontinent (Kailasa Nathan, 1994). As a matter of fact, the delay on the monsoon onset, doesn't allow the flooding of rice fields with obvious productivity problems.

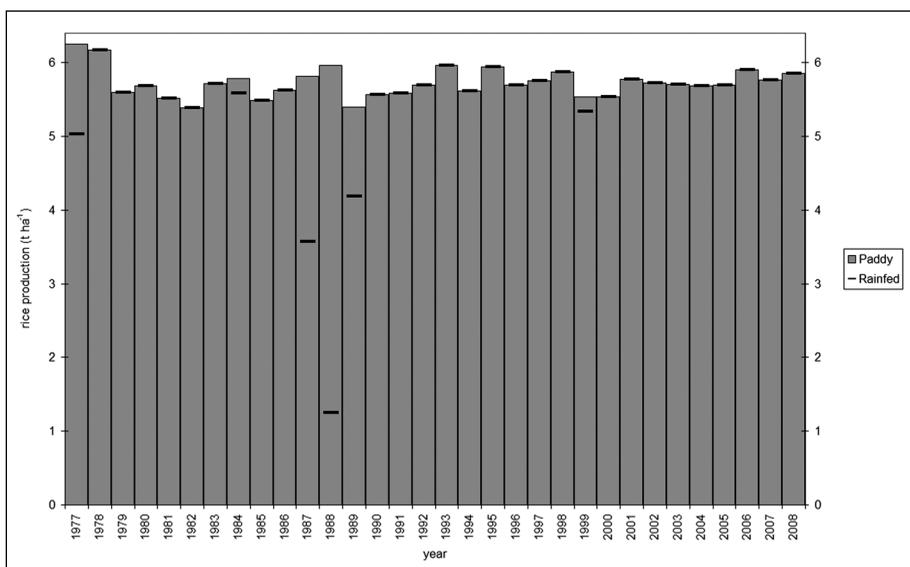


Fig. 3 - Yield of paddy and rainfed rice for the period obtained with the simulation model applied to the 1977-2008 time series. Low productivity of rainfed rice in specific years is mainly attributable to a delay in monsoon onset. *Fig. 3 - Produzione di riso in sommersione ed in coltura asciutta ottenuta con il modello di simulazione applicato al periodo 1977-2008. La bassa produttività osservabile per il riso in asciutta in annate particolari è soprattutto da attribuire al ritardo nell'arrivo del monson.*

4. CONCLUSIONS

A multi-year estimate of rice production in the Tamghat Valley was carried out by means of a dynamic simulation model fed by monthly meteorological data produced by the local meteorological station.

Various limitations come from the monthly step of the model. For example the effects of sub-optimal or super-optimal temperatures cannot be taken into account in a realistic way due to the very long time step adopted and in the same way the simulation of water balance shows some limitations.

The results reveal that the simulated productivity in the Tamghat Valley are double compared with real production (NAPA, 2010). Causes of this significant differences might be searched in the limitations related to pest management and nutrients and also in the obsolete park variety. The discrepancy found indicates that the optimization spaces are relevant.

Obviously intensification of paddy rice crop at farm level should be promoted by specific technical assistance activities, carried out by agronomists and technicians. Thus, it is confirmed the diagnosis provided by Uprety (2005) and in conclusions it is possible to state that productivity intensification based on agro-techniques and genetics is an effective instrument to enhance food safety in Nepal.

REFERENCES

- Adusumilli R., Bhagya Laxmi S., 2010. Potential of the system of rice intensification for systemic improvement in rice production and water use: the case of Andhra Pradesh, India, *Paddy Water Environ* DOI 10.1007/s10333-010.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*, 290 pp.
- Choudhury B.J., 2001. Estimating Gross Photosynthesis Using Satellite and Ancillary Data - Approach and Preliminary Results. *Remote Sensing of Environment*, Volume 75, Number 1, January 2001: 1-21.
- Dixit A., Upadhya M., Dixit K., Pokhrel A., Raj D., 2009. Living with water stress in the basin of Koshi River (Nepal).
- Doorenbos J., Kassam A.H., Bentvelder C., Uittenbogaard G., 1978. *Yield Response to*
- Water. U.N. Economic Commission West. Asia, Rome, Italy.
- FAO, 2010. Faostat web site <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Herman A., Schumann S., 2002. Executive summary on the results of the collaborative project on environmental risks of pesticides and sustainable development of integrated pesticide management systems (IPMS) in Nepal considering socio-economic conditions (IPMS-Project).
- Hussan I., Giordano M., 2003. Water and poverty linkages. *Case Studies from Nepal, Pakistan and Sri Lanka*.
- IRRI, 2008. World rice statistics (<http://irri.org/our-science/social-science-economics/world-rice-statistics> - site visited on February 4th, 2011)
- Kailasa Nathan K., 1994. Drought Profile: Haryana State in North India. *Drought Network News*. June 1994 issue. Water Technology Centre New Delhi, India.
- Larcher W., 1995. *Physiological plant ecology. Plants under stress*. Springer. Austria, 513 pp.
- Mariani L., Failla O., 2007. Le grandezze meteorologiche come variabili guida per gli ecosistemi agricoli e forestali, *Italian Journal of Agronomy*, n. 2 / 2007: 9-19.
- NAPA Project Team, 2010. Comparative study of effective management practices for enhancing agricultural production system in Nepal in the context of climate change. National Adaptation Programme of Action (NAPA) Project Office Ministry of Environment Singha Durbar, Kathmandu Nepal. January 2010.
- Parton W.J., Logan J.A., 1981. A model for diurnal variation in soil and air temperature, *Meteorol.*, 23: pp. 205-216.
- Pokhrel T.P., 1995. Rice development programme in Nepal, *International Rice Commission Newsletter*, (<http://www.fao.org/docrep/v6017t/V6017T04.htm>—web site visited at 16 June 2011).
- Uprety R., 2005. Performance of SRI in Nepal. *LEISA Magazine*, Volume 21, No.2, June 2005.
- Yoshida, S., 1981. *Fundamentals of rice crop science*. Los Baños, Laguna. 269 pp.
- Williams C.N., Joseph K.T., 1970. *Climate, soil and crop production in the humid tropics*, Oxford in Asia college texts, Oxford University Press, 177 pp.

Agroclimatic application of a simple methodology based on surface radiation measurements

Teodoro Georgiadis¹, Marianna Nardino¹, Federica Rossi¹

Abstract: The present work concerns the development and the application of a methodology to compute the surface radiative balance components and the cloud fraction index. The obtained results, regarding the cloud effects on surface available energy, give an idea of the great importance of this kind of studies. As a matter of fact, through this analysis, it is feasible to correlate possible climatic changes with the warming or cooling caused by clouds. The methodology was verified and applied considering a site in the Po river valley (SPC) in Emilia Romagna region. Through a specifically modified web cam, it was possible to automatically compute the cloud fraction by means of the inversion of the Kasten and Czeplack formula (1980) and to retrieve the parameterization coefficients that are strongly dependent on the site. The image analysis software for cloud fraction detection developed by the authors gave good results in all sky conditions. This study shows that it is possible to monitor, with a simple methodology, the climate modifications caused by the radiative forcing induced by a change in land use and, more generally, by anthropic influences. The application to four Italian sites is here reported to describe the usefulness for climatic classification.

Keywords: Cloud radiative forcing, cloud type, surface radiation balance, climatic classification.

Riassunto: In questo lavoro vengono proposti lo sviluppo e la applicazione di una metodologia basata sulla misura delle componenti del bilancio radiativo di superficie e della frazione dell'indice di copertura nuvolosa. I risultati ottenuti, relativi all'influenza delle nubi sull'energia disponibile, offrono un contributo agli studi climatici, in quanto evidenziano alcuni effetti dovuti alla presenza e al tipo di nubi sul riscaldamento o raffreddamento della superficie. La metodologia descritta è stata verificata e applicata per un sito localizzato nella valle del Po (SPC) in Emilia Romagna. Attraverso una web-cam, appositamente modificata, si è ottenuta, in modo automatico, una misura dell'indice di copertura nuvolosa attraverso l'inversione dell'equazione di Kasten e Czeplack (1980) derivandone i parametri sito-specifici. Il software di analisi delle immagini qui sviluppato ha evidenziato di poter fornire ottimi risultati per ogni tipo di condizione di copertura nuvolosa. Questo studio indica come sia possibile monitorare con una metodologia semplice le modificazioni climatiche causate dal forcing radiativo indotto da un cambiamento dell'uso del suolo e, più in generale, dagliflussi antropici. Viene inoltre riportata l'applicazione del metodo a quattro località italiane al fine di descrivere l'utilità di questa metodologia nella definizione di una classificazione climatica.

Parole chiave: Forcing radiativo delle nubi, tipo di nubi, bilancio radiativo alla superficie, classificazione climatica.

1. INTRODUCTION

Recently, many concerns about surface temperature increase due to rising concentration of atmospheric CO₂ have been pointed out. The *International Panel on Climatic Change* reports show that, throughout the last 100 years, the surface temperature in Europe has increased by 0.8 °C, a value that is significantly greater than the increase in the mean global temperature recorded during the same period of time (0.6 °C). Moreover, IPCC forecasts that for the period 2030-2050 temperatures will be higher in the Mediterranean basin. Studies quantifying the global warming proved the coexistence of areas characterized by an increment of the surface temperature and areas where temperatures are decreasing (IPCC -AR4, 2007).

The so called 'global change' can directly affect the

water cycle and the energy balances at the Earth surface with a relevant influence on plants growth and physiology and, hence, on crop yields of a given area. Consequently, it is crucial to define an agricultural region basing not only on its climatic features, but also on how these characteristics change with time. The analysis of surface temperature changes year after year it is not sufficient to offer a reliable understanding of the climatic feedbacks on crops grown in a specific area, particularly when referring to their eco-physiological features. The radiation regime is promising to be utilized in order to improve such information also for climate change studies.

Several studies have addressed the role of clouds on the surface radiative balance (Bintanja and van den Broeke, 1996, Cess *et al.*, 1989), but only a few long-time series measurements of exchange processes and modelling simulations have been conducted as a function of different cloud cover conditions (Kasten and Czeplack, 1980). Clouds are the main

^o Corresponding Author e-mail: t.georgiadis@ibimet.cnr.it

¹ IBIMET CNR

Received 26 April 2011 accepted 15 June 2011

regulators of surface-exchange processes: an increase in evaporation reflects in a corresponding increase in clouds formation and in a consequent modification of the energy balance (Cess *et al.*, 1989; Ramanathan, 1987). In addition, clouds developed in a certain region are moved by atmospheric circulation to other regions, influencing their radiative and energy exchanges. The interaction between surface and atmosphere is hence very complex, since mesoscale and synoptic circulation, cloud cover and atmospheric dynamics add to local regulation.

The effect of clouds on surface radiation is different as far as the two components of the surface radiation balance are concerned. If, on the one hand, clouds cool the surface by reflecting part of the incoming solar radiation, on the other, they also have a warming effect due to the greenhouse mechanism. The net result mainly depends on cloud and surface types, i.e. cloud transmissivity and surface albedo (Nardino and Georgiadis, 2003). Cirrus clouds (high and thin) transmit most of the incoming shortwave radiation, but they also trap some of the outgoing longwave. Their greenhouse forcing is greater than their albedo forcing, thus resulting in a net warming (Lynch, 1996). Stratocumulus clouds (low and thick) reflect much of the incoming shortwave radiation, but also re-emit large amount of longwaves. Their albedo forcing is larger than their greenhouse forcing, leading to a net cooling (Monastersky, 1989). Cumulonimbus (deep convective clouds) emit little longwave radiation at the top, and much at the bottom. They also reflect much of the incoming shortwave radiation. Their greenhouse and albedo forcing are both large, but nearly balanced, so that they induce neither warming nor cooling.

Characterisation of cloud types is important to obtain an understanding of the surface radiative balance modulation during cloud covered conditions (Orsini *et al.*, 2002). Unfortunately, conventional approaches are difficult to be directly employed when a scenario of climate change is obtained by general circulation models: crop modelling problems arise in a reliable downscaling of GCMs as well as in upscaling the physiological information to implement the GCM parameterisations (Avisar and Pielke, 1989; Pielke *et al.*, 1998).

The main aim of this work is to develop a methodology able to compute the surface radiative balance components and the cloud fraction and to provide information on the role of clouds on the surface radiation partition. This may help in assessing how much climatic changes could influence the

surface energy availability. The mean annual and monthly surface radiation balance components may allow to evaluate the local climate in given sites, to be extended to areas having similar surface and climatic characteristics. Finally, the paper also proposes an operational wide-scale methodology for global network applications.

2. INSTRUMENT AND METHODOLOGY

The methodology developed in this study is schematized under the following steps.

- 2.1) Measurements of the down-welling and up-welling surface radiation fluxes (short and long wave regions);
- 2.2) Monitoring of sky conditions on a short-time period;
- 2.3) Estimation of cloud fraction;
- 2.4) Estimation of cloud type;
- 2.5) Computation of the cloud radiative forcing (cloud effects on the radiative energy balance).

2.1 Measurements of the down-welling and up-welling surface radiation fluxes

Surface measurements have been carried out during an experimental campaign conducted at S. Pietro Capofiume (SPC) for years 2002 and 2003 (Galli *et al.*, 2004). The site is a typical rural location in the North-Eastern part of the Emilia-Romagna region (Italy) in the Po river valley. The instrumentation was installed in a wide, grass-covered flat area, located in the proximity of the Regional Meteorological Service (ARPA/SMR), a baseline station of the World Meteorological Organization (WMO).

The instrumentation necessary to apply this methodology is a four-component radiometer separately measuring down-welling and up-welling surface radiation fluxes. Examples of this kind of radiometer are CNR1 (Kipp and Zonen, Delft, NL) and MR-40 (EKO, Japan) (used in our measurement at SPC), in both of which two pyranometers are measuring shortwave incoming - Sw_{in} - and outgoing - Sw_{out} - radiation, and albedo. Far-infrared radiation components (incoming Lw_{in} and outgoing Lw_{out}) are measured by two pyrgeometers. Net radiation R_n is determined as:

$$R_n = (Lw_{in} - Lw_{out}) + (Sw_{in} - Sw_{out})$$

The radiation data have been stored in a data logger (i.e. CR10, Campbell Sci., UK) with a time step of 10 minutes at least. 1 minute time step is suggested when replicating these measurements, since frequent measurements of the incoming radiation are critical in determining correctly the cloud type.

2.2 Monitoring of sky conditions on a short-time period

The monitoring of sky conditions is carried out by a web camera mounted at 4 meters above soil surface in order to obtain an hemispheric, obstacle-free sky view. In our experiment, a network camera model 2100 (AXIS), modified for remote control was used. A grey filter was inserted between the fish-eye and the network camera lens to avoid reflection of solar radiation and the camera was mounted on a stout support. The data acquisition system stored each 10 minutes a sky image sized 640x480 pixels in JPG format and one year of images are analyzed to take into account the seasonal variability. The cloud fraction from each stored image was calculated by a software developed by the Authors using MATLAB code (V. 6.1) (flowchart in Fig. 1).

Fig. 2 shows the sequence of images used for cloud detection. Image 1 represents the RGB (Red-Green-Blue) image acquired by the web cam. The first steps of the image processing (Image 2) consist on centering and eliminating all the black areas. The image is converted from RGB to HSV (Hue-Saturation-Value) coordinate system (Thompson and Shure, 1995) (Image 3) to allow a better contrast between the sun and the white clouds. The elimination of the sun disk from the original image is based on (i) the determination of the Sun position analyzing the Hue matrix of HSV image (image H) and the Red matrix of RGB image (image R) and (ii) the classification of each image pixel as cloud or sky analyzing the saturation matrix of HSV image (image S) and the Blue matrix of RGB image (image B). The threshold values for this kind of discrimination have been obtained by analysing the values of B and S channels for clear and overcast sky images. Image 4 represents the sun and its halo contour obtained through contour detection tools as successfully circumscribed in image 5. Finally, image 6, converted in grey tones, allows to distinguish the clouds from the clear sky.

The flowchart (Fig. 1) evidences the need for an input file ("mappa.map"), with the names of the image files, to obtain two kind of output files. The first one is a ASCII recording the total number of the image pixels, the number of pixels considered, the number of clear sky: pixels, the number of cloud cover pixels and their relative percentages expressed in tenths. The second are JPG files making available the four final images resulting from the processing procedure.

2.3 Estimation of cloud fraction

The cloud fraction is computed through the incoming shortwave radiation data utilizing the

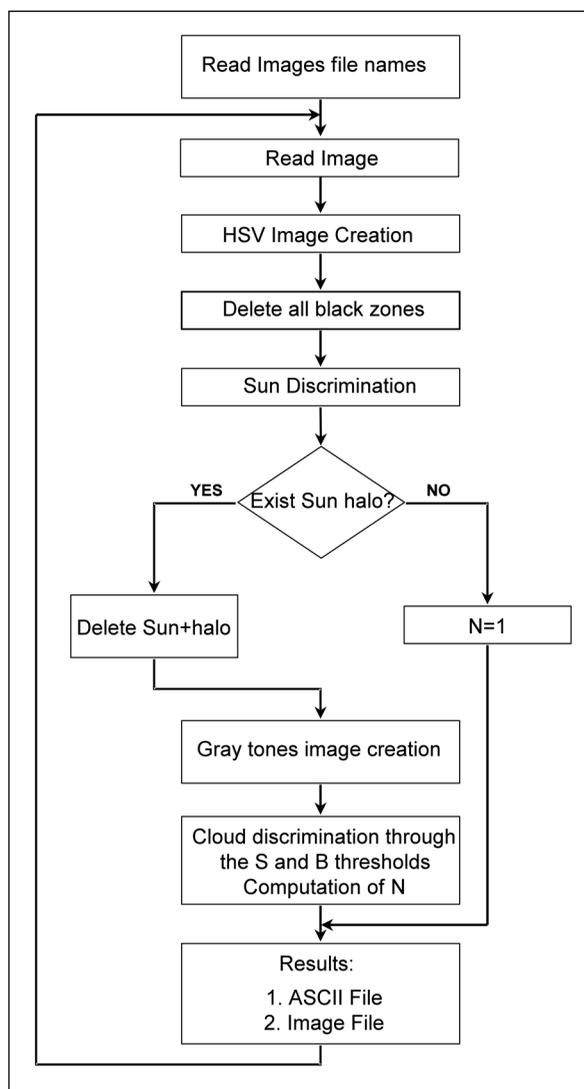


Fig. 1 - Flux diagram of the MATLAB code software utilized for image analysis.

Fig. 1 - Diagramma di flusso del codice MATLAB utilizzato per l'analisi delle immagini.

inversion of the Kasten and Czeplack (1980) formula:

$$N = \left(\frac{1}{b_1} \left(1 - \frac{S_{w_{in}}(N)}{S_{w_{in}}(0)} \right) \right)^{1/b_2} \quad [1]$$

where b_1 and b_2 are site-dependent coefficients (equal to -0.75 and 3.4 respectively in Kasten and Czeplack experiment), N is the cloud fraction that varies between 0 for clear-sky and 1 for overcast conditions, $S_{w_{in}}(N)$ the measured global radiation, and $S_{w_{in}}(0)$ the global radiation that would reach the surface in clear-sky conditions (Battles *et al.*, 2000; Niemelä *et al.*, 2001).

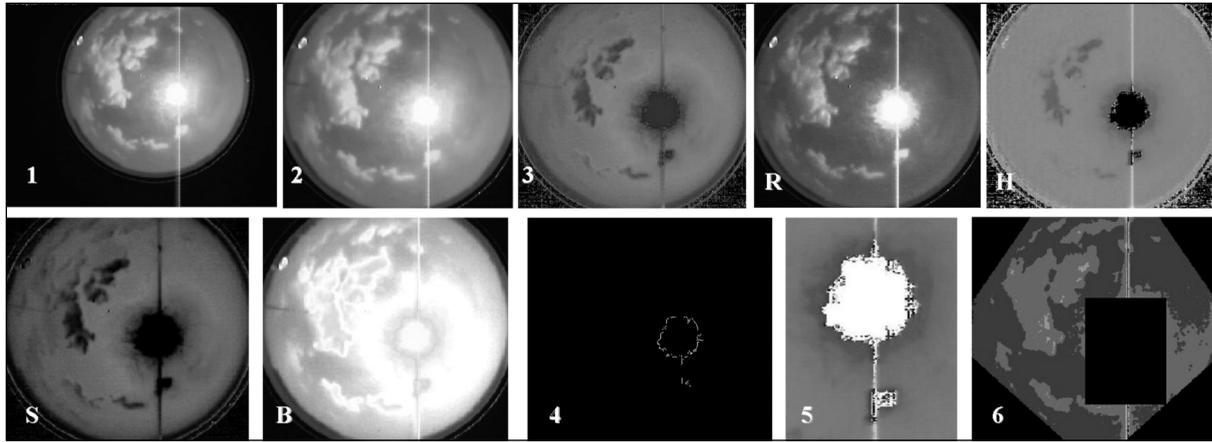


Fig. 2 - Image sequences obtained at different steps of software application. Image 1 is the RGB image, image 2 is the result of the processes of image centering and elimination of all the black areas. Image 3 is the image in HSV (Hue-Saturation-Value) coordinate system, R and B respectively represents the Red and Blue channels of the RGB while H and S the Hue and Saturation channels of HSV image. Image 4 represents the sun and its halo contour, circumscribed in image 5. Image 6 is the final distinction between clouds and clear sky converted in grey tones.

Fig. 2 - Sequenza delle immagini ottenute durante i diversi step dell'applicazione del software. L'immagine 1 è la fotografia in scala RGB, l'immagine 2 è il frutto dei processi di centramento e di eliminazione delle aree nere. L'immagine 3 è la fotografia in coordinate HSV (Hue-Saturation-Value), R e B sono rispettivamente i canali Red e Blue dell'immagine RGB mentre H ed S sono rispettivamente i canali Hue e Saturation dell'immagine HSV. L'immagine 4 rappresenta il contorno del sole e del suo alone, circoscritti nell'immagine 5. L'immagine 6 è il prodotto finale in scala di grigio con la distinzione fra cielo sereno e nubi.

Given the availability of real data, $Sw_{in}(0)$ is obtained through the direct determination of the monthly typical-clear-sky atmospheric transmittance, that is a two-step process.

Firstly, all the fully clear-sky days are singled out for each month, and the mean value of all data corresponding to the same hour of the day are computed. The observation of the daily Sw_{in} time series allows the identification of clear-sky days.

Secondly, the total effective atmospheric transmission (τ) is calculated for all Sw_{in} measurements as:

$$\tau = \frac{Sw_{in}}{Sw_{in}(TOA)} \quad [2]$$

$Sw_{in}(TOA)$ is the shortwave incident flux at the top of the atmosphere, and its value is dependent only on astronomical factors:

$$Sw_{in}(TOA) = S \cos(\Phi) \quad [3]$$

where S is the solar constant, depending on the Sun-Earth distance, and Φ the solar zenith angle. In our computation S is equal to 1372 W m^{-2} .

The typical-clear-sky total atmospheric transmission ($\overline{\tau}_{clear}$) is the mean value of all data corresponding to the same hour of all clear-sky days.

The typical-clear-sky incoming shortwave flux is obtained from:

$$Sw_{in}(0) = Sw_{in}(TOA) \overline{\tau}_{clear} \quad [4]$$

The parameterization coefficients b_1 and b_2 of [1] were -0.75 and 3.4 respectively in the original formula. In this paper, we derived the b_1 and b_2 values from the network camera images and introduced these new "typical site coefficients" in the Kasten and Czeplack's formula [1] to compute the cloud fraction for long term monitoring purposes.

The inversion of [1] was satisfactory verified in previous studies (Orsini *et al.*, 2002; Nardino and Georgiadis, 2003) in polar sites. Moreover, the direct observations of the network camera images confirmed the reliability of the parameterization [1], especially considering the daily mean values of cloud cover.

2.4 Estimation of cloud type

Duchon and O'Malley (1999) developed a methodology for the classification of cloud types based exclusively on measurements of incoming global radiation. The cloud types and sky conditions categorized in this study are cumulus, cirrus, cirrus and cumulus, stratus, fog and/or precipitation, and no clouds (clear sky).

The first step of the Duchon and O'Malley methodology consists on scaling the clear-sky irradiance $Sw_{in}(0)$ to the constant value of 1400 W m^{-2} for each measurement value of each day, obtaining a day-dependent set of scale-factors. The second step is to multiply the observed shortwave irradiance, Sw_{in} , by the set of scale-factors corresponding to the day taken into account. The third step is to compute the mean and standard deviation of the scaled measured irradiance in a 21-minutes moving window. The ratios of the running mean scaled irradiance to scaled clear-sky irradiance (R) and the running standard deviation of scaled observed irradiance (Σ) are the two parameters used in the cloud-type identification criteria. The 21 minutes window is an empirical choice: a 30-minutes (or 50-minutes) moving window to retrieve cloud type are suitable enough in our latitude to suit times characteristic of the air mass movements. Tab. 1 shows the thresholds used for the classification.

2.5 Cloud Radiative Forcing

Shortwave ($SwCRF$) and Longwave ($LwCRF$) cloud radiative forcing are quantified according to Bintanja and van Den Broeke (1996):

$$\left. \begin{aligned} SwCRF &= N \cdot \left[Sw_{n(ov)} - Sw_{n(cl)} \right] \\ LwCRF &= N \cdot \left[Lw_{n(ov)} - Lw_{n(cl)} \right] \end{aligned} \right\} [5]$$

where N is the monthly or seasonal (depending on the chosen analysis) mean value of the cloud fraction and $Sw_{n(cl)}$, $Sw_{n(ov)}$, $Lw_{n(cl)}$ and $Lw_{n(ov)}$ are short and long-waves radiation balances in clear-sky and overcast conditions, respectively. These terms are computed from linear best-fit equations interpolating the dependences of Sw_n and Lw_n on

Cloud Type	$\Sigma (\text{W m}^{-2})$	R
CIRRUS	$10 < \Sigma < 80$	$0.8 < R < 1.05$
CUMULUS	$120 < \Sigma < 800$	$0.5 < R < 1.15$
CUMULUS+CIRRUS	$100 < \Sigma < 740$	$0.45 < R < 0.95$
STRATUS	$0 < \Sigma < 100$	$0 < R < 0.4$
CLEAR SKY	$0 < \Sigma < 10$	$0.88 < R < 1.05$

Tab. 1 - Cloud types and thresholds of the two parameters used in the cloud type classification. Σ is the running standard deviation of scaled observed irradiance and R is the ratio of the running mean of the scaled irradiance to the scaled clear sky irradiance.

Tab. 1 - Tipo di nubi e soglie dei due parametri utilizzati nella classificazione della tipologia di nubi. Σ è la deviazione standard mobile dell'irradianza osservata scalata e R è il rapporto tra la media mobile della irradianza scalata e l'irradianza durante condizione di cielo sereno scalata.

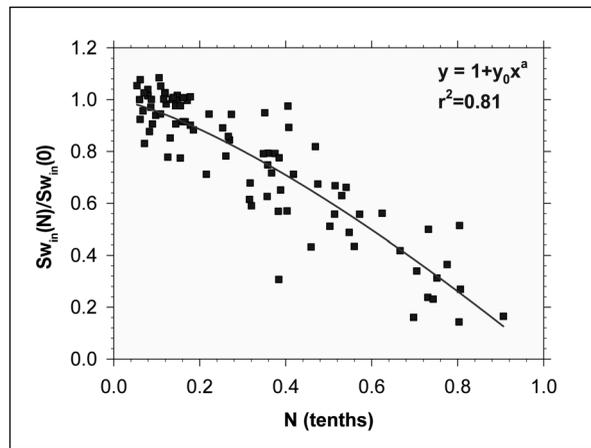


Fig. 3 - Scatter plot between the ratio of measured global radiation to the Sw_{in} that would reach the surface in clear sky conditions and the daily mean cloud fraction obtained through the web cam images analysis.

Fig. 3 - Grafico del rapporto tra la radiazione globale misurata e la radiazione solare che dovrebbe raggiungere la superficie in condizioni di cielo sereno verso il valor medio giornaliero dell'indice di copertura nuvoloso ottenuto attraverso l'analisi delle immagini della web cam.

N (Nardino and Georgiadis, 2003). Because $LwCRF$ is normally > 0 , clouds warm the surface in the long-wave region, whereas they cool the surface in the short wave region ($SwCRF < 0$).

3. RESULT AND DISCUSSION

The two coefficients, b_1 and b_2 , of equation [1] have been computed directly from experimental data recorded at SPC site. Fig. 3 reports the scatter plot between the ratio of measured global radiation and the global radiation that would reach the surface under clear-sky conditions, and the daily mean cloud fraction obtained through the web cam images analysis. The data were fitted with the curve represented in figure 3, where the coefficients y_0 and a represent $-b_1$ and b_2 in the equation [1], and a good correlation coefficient ($r^2=0.81$) has been obtained. The y_0 and a values were equal to -0.99 ± 0.06 and 1.3 ± 0.1 , respectively different by the ones present in the Kasten and Czeplack (1980) original formula (-0.75 and 3.4). Once these coefficient are determined, N was obtained by applying equation [1] and the effect of clouds on the surface radiative balance components are evidenced.

Fig. 4 reports an example of cloud types obtained for different polar sites in Antarctica and in Arctic (Nardino and Georgiadis, 2003). The cloud radiative forcing calculated in these same sites utilizing eq. [5] are shown in Fig. 5. In the areas where the clouds tend to warm the surface the greatest number of

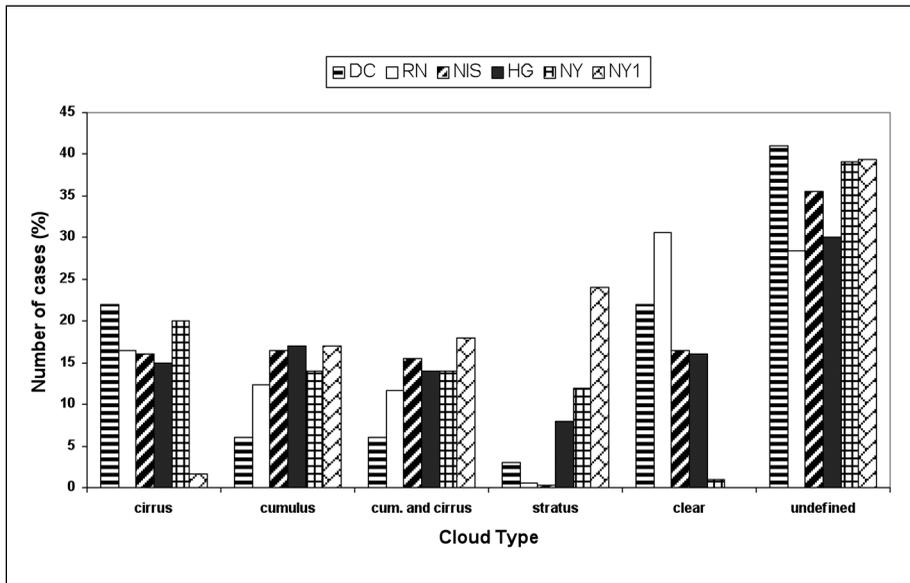


Fig. 4 - Relative number of occurrence of cloud types for different polar sites obtained with the Duchon and O'Malley (1999) methodology. (DC= Dome Concordia, RN= Reeves Nevè, NIS= Nansen Ice Sheet, HG= Helles Gate, NY= Ny Alesund, NY1= Ny Alesund).
Fig. 4 - Numero percentuale di casi del tipo di nubi per diversi siti polari ottenuti con la metodologia di Duchon and O'Malley (1999). (DC= Dome Concordia, RN= Reeves Nevè, NIS= Nansen Ice Sheet, HG= Helles Gate, NY= Ny Alesund, NY1= Ny Alesund).

clouds are classified as cirrus, while in the site NY1, where a cooling effect is observed, the prevailing clouds are stratus. This examples have been reported to show how the determination of both cloud coverage and cloud type is crucial in the understanding the radiative forcing.

Fig. 6 shows the yearly cycle of the net components of the surface radiative balance in SPC site and in other three sites located in Sardegna island: Arca, Bitti, Siniscola. Dots below the line $S_{wn} = -L_{wn}$ indicate positive values of net radiation, whereas

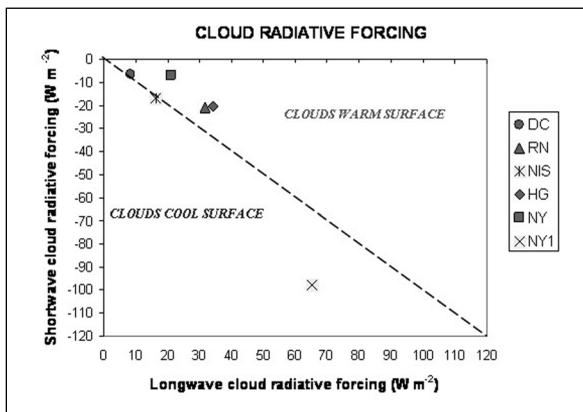


Fig. 5 - Mean values of the cloud surface radiative forcing for different polar sites. The distance from the 1:1 line represents the entity of the cooling or warming. (DC= Dome Concordia, RN= Reeves Nevè, NIS= Nansen Ice Sheet, HG= Helles Gate, NY= Ny Alesund, NY1= Ny Alesund).
Fig. 5 - Valori medi del forcing radiativo delle nubi per diversi siti polari. La distanza dalla retta 1:1 rappresenta l'entità del raffreddamento o del riscaldamento. (DC= Dome Concordia, RN= Reeves Nevè, NIS= Nansen Ice Sheet, HG= Helles Gate, NY= Ny Alesund, NY1= Ny Alesund).

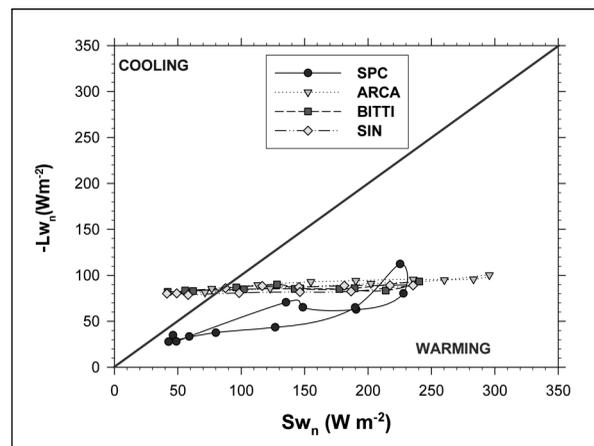


Fig. 6 - Annual trajectory of the S_{wn} and L_{wn} monthly mean values for each site: the lowest S_{wn} fluxes concerns on winter months and the highest to summer months.
Fig. 6 - Traiettoria annuale dei valori medi mensili di S_{wn} e L_{wn} per ogni sito: i valori minori di S_{wn} sono relativi ai mesi invernali mentre i più alti ai mesi estivi.

dots above the line indicate negative values. The hodogram evidences, on a monthly mean, a common, low energetic availability during the winter. The energetic availability increases in spring and summer, and it is always positive in SPC site. This means that, in spite of the cooling effect of the clouds, SPC is always characterized by a monthly surplus that is available for surface-atmosphere energetic processes. The sites in Sardegna are characterized by a negative R_n value during the winter months, probably due to a higher cooling effect of clouds.

The climatic classification according to the thresholds

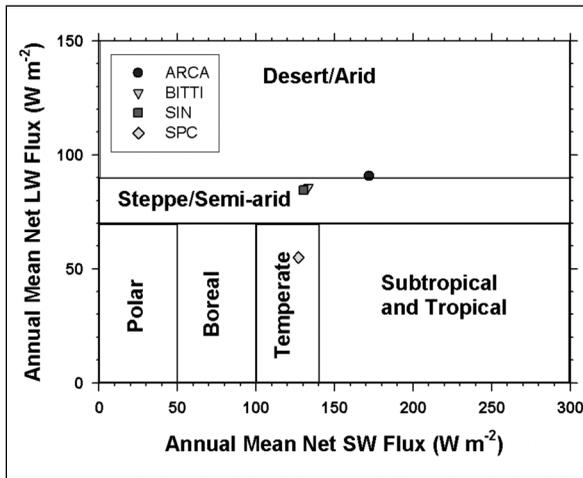


Fig. 7 - Climatic classification performed with annual mean values of S_{wn} and L_{wn} as reported by Smith *et al.* (2002).
*Fig. 7 - Classificazione climatica ottenuta dai valori medi annuali di S_{wn} e L_{wn} come riportato in Smith *et al.* (2002).*

proposed by Smith *et al.* (2002) (Fig. 7) evidences that SPC is within a temperate climate, while the Sardegna sites are characterized by values of annual radiation balance typical of a semi-arid climate. In particular, Arca is approaching the established limit for being defined a desert/arid class. The Sardinia region is a typical site with desertification problems, due to a very arid summer season. The obtained results highlight that at present the climate in Sardinia shows a tendency towards desertification. For this reason, possible climatic changes could increase this risk with important consequences at social and economical levels.

4. CONCLUSIONS

The surface radiation balance is confirmed to be a very important information for a climatic classification independent from the common meteorological variables conventionally utilized (temperature, rain etc...).

Since clouds exert a cooling effect by reflecting a portion of incoming solar radiation and a simultaneous warming effect by decreasing the Earth emitted longwave radiation, the balance of these two terms is crucial to define if clouds tend to warm or, either, to cool the surface. Different studies (Nardino and Georgiadis, 2003; Galli *et al.*, 2004) evidenced that the effect of clouds on net radiation is strongly dependent on the type of surface and on cloud typologies and, hence, on surface albedo and atmospheric transmissivity.

The methodology developed here proves to be a suitable instrument to derive cloud coverage, cloud type, cloud radiative forcing and also delivers

climate classification of a given site by means of surface measurements of the radiative balance components.

The climatic classification based on the annual surface radiative balance components offers a new perspective to the characterization of climatic trends. If long term solar radiation time series are available, reliable indications may be also derived about occurred changes in the climatic classification.

Besides, yearly and seasonal variations of climatic pattern can be detected and related to crop ecophysiology, yield, and land use. Studies on the consequences of climatic changes induced by an anthropic-origin radiative forcing may take profit from these indications: for instance, the desertification trend caused by a change in soil management (leading to a greater energy loss) may be detected. Relations among possible future climatic scenarios and responses, in terms of radiation regime, of various crops or/and ecosystems may also be useful in implementation of agrometeorological models.

The application of this methodology to a larger spatial scale, may evidence possible trends and effects on national scale, and identify sites potentially vulnerable and risky.

One of the main strengths of the method here proposed is the capability to derive climatic classification on the exclusive base of radiation measurements. This may avoid the sometimes very complicated comparison of other meteorological variables and it is also physically very sound, since the radiometric parameters directly represent the 'energetic' of the processes.

At present, a crucial point in a spread application of the methodology comes from the need to determine the local site-dependent coefficients for the cloud fraction derivation. A calibration facility, as evidenced in this paper, can be obtained by a all-sky camera used to check the real cloud coverage versus the calculated one. The application of the methodology to large surface networks could strongly reduce this initialisation problem, and the related costs, allowing the development of a routine procedure.

REFERENCES

- Avisar R., Pielke R. A., 1989. A parameterization of heterogeneous land-surface for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. *Mon. Weather Rev.*, 117: 213-236.
- Bintanja R., van den Broeke M.R., 1996. The influence of clouds on the radiation budget of ice and snow surface in Antarctica and Greenland in summer. *Int. J. of Climatology* 16: 1281-1296.

- Battles F.J., Olmo F.J., Tovar J., Alados-Arboledas L., 2000. Comparison of cloudless sky parameterizations of solar irradiance at various Spanish midlatitude locations. *Theor. Appl. Climatol.* 66: 81-93.
- Cess R., Potter G.L., Blanchet J.P., Boer G.J., Ghan S.J., Kiehl J.T., Le Treut H., Li Z.X., Liang X.Z., Mitchell J.F.B., Morcrette J.J., Randall D.A., Riches M.R., Roeckner E., Schlese U., Slingo, A., Taylor K.E., Washington W.M., Wetherald R. T., Yagai I., 1989. Interpretation of cloud-climate feed-back as produced by 14 atmospheric general circulation models. *Science* 245: 513-516.
- Duchon C.E., O'Malley M.S., 1999. Estimating cloud type from pyranometer observations. *J. Appl. Meteorol.* 38: 132-141.
- IPCC (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.
- Kasten F., Czeplak G., 1980. Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud. *Solar Energy* 24: 177-189.
- Niemelä S., Räisänen P., Savijärvi H., 2001. Comparison of surface radiative flux parameterizations: Part II. Shortwave radiation. *Atmos. Res.* 58: 141-154.
- Galli C., Nardino M., Levizzani V., Rizzi R., Georgiadis T., 2004. Radiative energy partition and cloud radiative forcing at a Po valley site. *Atmosph. Res.* 72: 329-351.
- Lynch D.K., 1996. Cirrus clouds: their role in climate and global change. *Acta Astronautica* 20 (11): 859-863.
- Monastersky R., 1989. Cloudy concerns. *New Sciences* 136 (29): 106-110.
- Nardino M., Georgiadis T., 2003. Cloud type and cloud cover effects on the surface radiative balance at several polar sites. *Theor. Appl. Climatol.* 74: 203-215.
- Orsini A., Tomasi C., Calzolari F., Nardino M., Cacciari A., Georgiadis T., 2002. Cloud cover classification through simultaneous ground-based measurements of solar and infrared radiation. *Atmos. Res.* 61: 251-275.
- Pielke R.A., Avissar R., Raupach M., Dolman A.J., Zeng X., Denning S., 1998. Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather and climate. *Global Change Biol.* 4: 461-475.
- Ramanathan V., 1987. The role of Earth radiation budget studies in climate and general circulation research. *J. Geophys. Res.* 92: 4075-4095.
- Smith G.L., Wilber A.C., Gupta S.K., Stackhouse J.R., 2002. Surface radiation budget and climate classification. *J. Climate* 15: 1175-1188.
- Thompson C.M., Shure L., 1995. Image processing TOOLBOX for use with MATLAB. The Math Works Inc., 301.

Downscaling of ecophysiological information from natural communities to urban trees

Federica Rossi¹, Rita Baraldi¹, Marianna Nardino¹, Francesca Rapparini¹, Teodoro Georgiadis¹

Abstract: Knowledge about ecophysiological attitudes at tree level is basic for a correct knowledge of the performance of each species in different environments, and for the comprehension of the mitigation and compensation aspects that urban vegetation may exert. Data on photosynthesis and stomata conductance may be obtained from measurements at single leaf level, but their upscaling to plant level is very complex, due to the needs of considering light extinction patterns within complex canopies, and all the other regulatory physiological and physical factors. This paper starts from the opposite direction: scaling down information about single trees photosynthesis from data collected at stand level.

Keywords: CO₂ exchange flux, ecophysiology, urban vegetation, urban green planning.

Riassunto: Conoscere le risposte ecofisiologiche a livello di pianta è fondamentale per determinare le performances di ogni specie in ambienti diversi, e per comprendere gli aspetti di mitigazione e compensazione che la vegetazione esercita in aree urbane. Dati puntuali su fotosintesi e conduttanza stomatica possono essere ottenuti facilmente tramite misure dirette a livello di singola foglia, ma lo scaling a livello superiore, e quindi la trasposizione dei valori alla intera pianta è una operazione complessa. Occorre infatti tenere in conto l'estinzione della radiazione foto sintetica all'interno di chiome complesse, oltre che tutti i fattori di regolazione legati alle forzanti atmosferiche e alla componente fisiologica. Questo lavoro effettua quindi un livello di scaling che tiene in considerazione questi parametri e derivando le informazioni eco fisiologiche relative ad una singola pianta a partire dai dati raccolti a livello di ecosistema.

Parole chiave: Flussi di CO₂, ecofisiologia, vegetazione urbana, pianificazione verde urbano.

INTRODUCTION

The photosynthesis process is a complex effect of interaction between the atmosphere and the vegetation surfaces. The sink of CO₂ at tree scale is more complex than the study of photosynthesis at leaf or ecosystem scales: the plant photosynthesis ability depends not only on genetic characteristics of a single specie, but also on total biomass and its volumetric and spatial distribution. The light energy that reaches the tree canopy and the single leaves is the source to activate the photosynthesis process, so the total daily CO₂ storage at plant scale is not the sum of single leaf stored terms, but it is function of the energy availability and the solar position of the geographical location where the plant is located (Ross, 1975).

Also the local meteorological and climatological conditions play a fundamental role in the determination of seasonal and annual photosynthesis (Carrara *et al.*, 2004): the air temperature is crucial in the variability of the plant respiration and the photosynthetic active radiation (PAR), as well as water wailability, modulate the changes in the photosynthesis fluxes. Therefore, the complete knowledge of all these regulating factors is necessary to estimate the net canopy exchanges.

The model developed in the present study aims to downscale information recorded at ecosystem level to single tree species, in order to have an estimate of the plant ability to absorb the atmospheric CO₂.

MATERIAL AND METHODS

The present study was carried out to obtain information about a sustainable green urban planning for an area in the Parma city (Lat. 44.80° N, Long. 10.33° E), considering the capacity of the different tree species to absorb CO₂.

Three-year-old potted plants belonging to 12 species (listed in Tab. 2) were taken as model-elements. Measurements of CO₂ leaf gas-exchanges were conducted under laboratory conditions by clamping a portion of fully expanded leaves of the tree canopy in the cuvette of the portable gas-exchange system Li-Cor 6400 (Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA). The leaf cuvette was equipped with a temperature and light control device that allowed to maintain the leaves at 30° C and at 1000 μmol m⁻² s⁻¹ of photosynthetic active radiation (PAR). Light-saturated photosynthesis was considered a maximum assimilation rate (A_{max}) (Baraldi *et al.*, 2010).

The monthly and annual CO₂ exchanges between each species and the atmosphere have been computed applying a model that was developed using real flux data measured since 2000 in a forest ecosystem (Nonantola deciduous forest) belonging to

* Corresponding author email: f.rossi@ibimet.nr.it

¹ Institute of Biometeorology, National Research Council, Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italy.

Received 14 February 2011 accepted 17 June 2011

CarboEurope Network (<http://www.carboeurope.org/>; <http://gaia.agraria.unitus.it/DATABASE/carboeuropei/p/site.aspx> (Yi *et al.*, 2010). This forest is close to the city of Modena (Lat. 44.69° N, Long. 11.09° E), thus the climatic and meteorological conditions are representative of Parma, which is located nearby in the flat area of the Po plane in Italy.

Model Description

We considered three continuous years of ecosystem measurements (2001, 2002 and 2003) to avoid differences in biomass accumulation and meteorological conditions and only the vegetative months were taken into account (from April to October).

During the three years taken into consideration, the monthly typical day CO₂ exchange flux have been calculated from April to October and the A_{max} value of

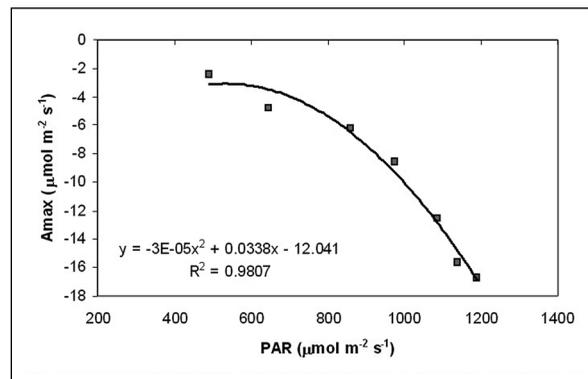


Fig. 1 - A_{max} (maximum of photosynthesis) value of each single month (from April to October) as function of maximum PAR value. The best fit is a second order polynomial curve.

Fig. 1 - Valore di A_{max} (fotosintesi massima) per ogni mese (da aprile ad ottobre) in funzione del valore massimo di PAR. L'interpolazione ottimale è una curva polinomiale di secondo ordine.

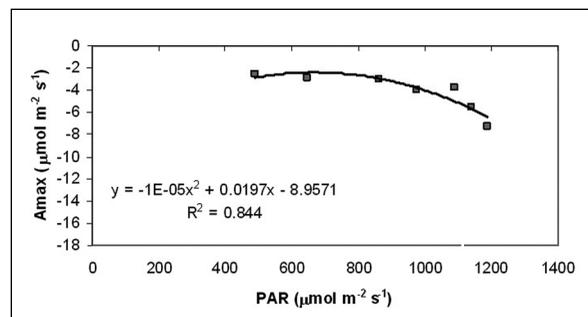


Fig. 2 - A_{max} (maximum of photosynthesis) value of each single month (from April to October) as function of maximum PAR value for the *Carpinus Betulus* species.

Fig. 2 - Valore di A_{max} (fotosintesi massima) per ogni mese (da aprile ad ottobre) in funzione del valore massimo di PAR per la specie Carpinus betulus.

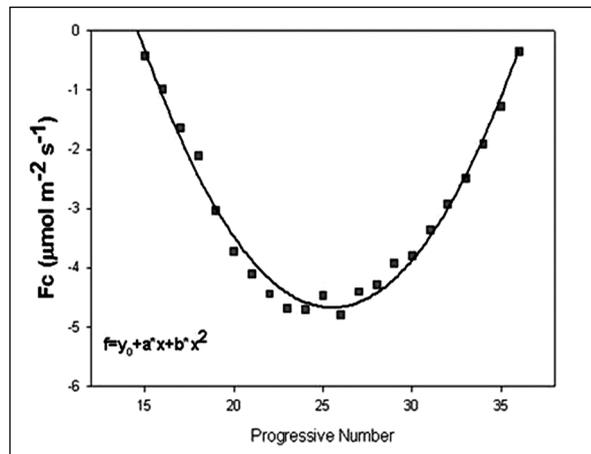


Fig. 3 - Parameterization of the typical day CO₂ flux for April month. The same curves has been obtained for each single month.

Fig. 3 - Parametrizzazione del flusso di CO₂ giornaliero tipico per il mese di aprile. Le medesime curve sono state ottenute per ogni singolo mese.

each single month was parameterized as function of the maximum PAR recorded in the month itself. The curve obtained from this parameterization (Fig. 1) has been successively modified to force the ecosystem A_{max} (at PAR=1000 μmolm⁻² s⁻¹) to be equal to the A_{max} measured at leaf scale for each single species. In this way we defined the monthly variability of the A_{max} value. A single curve was obtained for each plant species under investigation Fig. 2 reports the case of *Carpinus Betulus*.

The CO₂ flux daily trend for each month (obtained from data recorded at ecosystem level) was parameterized by using a second-order polynomial regression curve: in Fig. 3 it is reported the case of the month of April. Tab. 1 reports the coefficients of the regression curve for each vegetative month together with the correlation coefficient of the best fit curve.

In order to impose the A_{max} value measured for each single plant species, the coefficients reported in Tab. 1 were re-computed for each month (a_{month}) as function of the A_{max} value obtained through the method above described (Fig. 2 results for *Carpinus Betulus*) applying the equation:

$$a_{\text{month}} = -\sqrt{(y_0 - A_{\text{max_month}})4b} \quad [1]$$

In Fig. 4 shows the results obtained of April for *Carpinus Betulus*. The same procedure was applied to compute the diurnal CO₂ fluxes for each month and for each species.

Tab. 1 - Coefficients and correlation coefficient (R^2) values of the quadratic best fit curve ($y = y_0 + ax + bx^2$) obtained for each single month.

Tab. 1 - Coefficienti dell'interpolazione ottimale mediante curva quadratica ($y = y_0 + ax + bx^2$) e relativo coefficiente di correlazione per ogni singolo mese.

Month	y_0	a	b	R^2
April	21.00	-2.01	0.04	0.98
May	46.32	-5.11	0.10	0.99
June	39.01	-4.33	0.09	0.98
July	27.87	-3.18	0.06	0.97
August	28.85	-3.00	0.06	0.97
September	27.77	-2.07	0.05	0.99
October	17.73	-1.58	0.03	0.94

The respiration flux was calculated by utilizing the empirical coefficients reported in Lloyd and Taylor (1994) taking into account that organic heterotrophic soil respiration is not present in an urban environment. The nocturnal contribution from the soil was taken equal to 40% of the total measured ecosystem respiration (Balducchi *et al.*, 2001), while the respiration in the winter months was considered equal to zero (no litter and no leaves, so that the net CO_2 balance was equal to zero).

RESULTS AND DISCUSSION

The model developed in this work was applied to all species investigated, that are commonly present in the urban vegetation of North Italy cities (considered pot grown trees as model elements). Summing the values of diurnal CO_2 flux during the vegetative months, the Net Ecosystem Exchange (NEE) at tree scale was computed. The results are

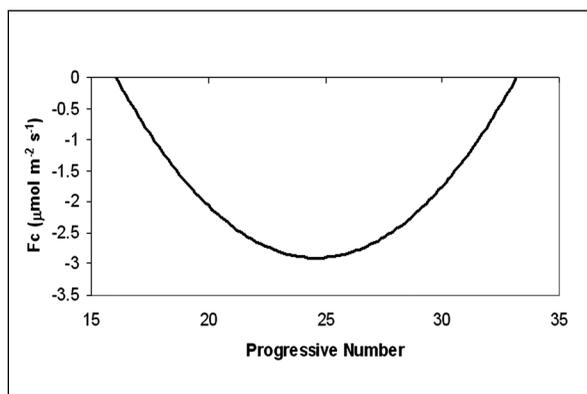


Fig. 4 - Typical day CO_2 flux for *Carpinus betulus* during April month. The same curves has been obtained for each month and for each species.

Fig. 4 - Flusso di CO_2 giornaliero tipico per *Carpinus betulus* durante il mese di aprile. Le medesime curve sono state ottenute per ogni singolo mese e per ogni specie.

Tab. 2 - Annual net CO_2 exchange (NEE) and maximum of photosynthesis (A_{max}) values for each single species under investigation in the present study.

Tab. 2 - Valori di scambio netto di CO_2 annuale (NEE) e di fotosintesi massima (A_{max}) per ciascuna specie esaminata nel presente studio.

SPECIES	A_{max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	NEE ($\text{Kg CO}_2 \text{m}^{-2} \text{year}$)
<i>Acer campestre</i>	-10.72	-0.83
<i>Acer platanoides</i>	-12.47	-1.22
<i>Carpinus betulus</i>	-7.25	-0.55
<i>Crataegus monogyna</i>	-19.79	-3.82
<i>Fraxinus excelsior</i>	-9.01	-0.64
<i>Fraxinus ornus</i>	-22.63	-4.86
<i>Liriodendron tulipifera</i>	-8.53	-0.61
<i>Liquidambar styraciflua</i>	-9.36	-0.61
<i>Malus everest</i>	-11.72	-1.17
<i>Prunus avium</i>	-12.95	-1.50
<i>Quercus cerris</i>	-12.23	-1.32
<i>Tilia cordata</i>	-17.93	-3.19

reported in Tab. 2, where for each species the A_{max} values measured in laboratory and the net ecosystem exchange per year and per surface units are reported. In order to scale-up the result at the whole tree level, it was a necessary step to multiply the obtained value for the plant average biomass area.

The most efficient species, in terms of CO_2 absorption, is the *Fraxinus ornus* (NEE=-4.86 $\text{Kg CO}_2 \text{m}^{-2} \text{year}$) while the *Carpinus betulus* (NEE=-0.55 $\text{Kg CO}_2 \text{m}^{-2} \text{year}$) is the lowest. NEE is the Net Ecosystem Exchange, that is the difference between the amount of C stored by photosynthesis and the amount lost by respiration.

These values can be there considered as an estimation of the different species ability to sink the CO_2 from the atmosphere, reporting an exercise to overcome the more-spatially significant

data available at single leaf level. When similar investigation are carried out in different geographical area, the local environmental conditions must of course be taken into account. In a strategy of urban planning, the present study can give a instrument to decide the right species to plant in order to limit both pollution and warming problems of anthropogenic origin.

CONCLUSIONS

The downscaling of ecophysiology information from ecosystem to single tree scale can be utilized to planning new urban green installation.

The urban green mitigation and compensation effects are strongly correlated with the plant species, the biomass area and the tree age. The present study gives a new tool to obtain single tree information from data collected at stand level. With the same scientific approach the annual evapotranspiration at plant level can also be computed, starting from laboratory measured stomatal conductance of the single species. Similarly to the photosynthesis process, the dependence of the evapotranspiration on environmental conditions variability can be studied considering the forest ecosystem measurements, thus providing important inputs to urban heat island mitigation practices and politics.

These results, together with the plant ability to absorb small particle and air pollutants, give a new instrument to detect the species that better adapt themselves to the urban environment, and that may furnish as well an important added value to sustainable urban ecosystem services.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to Matteo Mari and Mafalda Govoni of IBIMET, to dr. Maria Teresa Salomon, and to and Distretto Florovivaistico Planta Regina, Canneto sull'Oglio (MN) for providing the plants.

LITERATURE CITED

- Baraldi R., Rapparini F., Tosi G. and Ottoni S. 2010. New aspects on the impact of vegetation in urban environment. ISHS. Proceedings of the Second International Conference on Landscape and Urban Horticulture. Acta Horticulturae 881: 543-546.
- Baldocchi D.D., Falge E., Gu L., Olson R., Hollinger D., Running S., Anthoni P., Bernhofer C., Davis K., Evans R., Fuentes J., Goldstein A., Katul G., Law B., Lee X., Malhi Y., Meyers T., Munger W., Oechel W., Paw U K.T., Pilegaard K., Schmidt H.P., Valentini R., Verma S., Vesala T., Wilson K., Woofsy S., 2001. FLUXNET: a new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapour and energy flux densities. Bull Amer. Met. Soc. 82 11: 2415-2434.
- Carrara A., Janssens I.A., Yuste J.C., Ceulemans R. 2004. Seasonal changes in photosynthesis, respiration and NEE of a mixed temperate forest. J. Agr. For. Met. 126: 15-31.
- Lloyd J., Taylor J.A. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. Func. Ecol. 8: 315-323.
- Ross J. 1975. Radiative Transfer in Plant Communities. Chapter in Vegetation and the Atmosphere (Vol. I). J.L. Monteith, Academic Press, London:13-55.
- Yi C. *et al.*, 2010. Climate control of terrestrial carbon exchange across biomes and continents. Envir. Res. Letters, 5: 1-10.

Effetti dell'irrigazione sovrachioma sul condizionamento del microclima in fragola sotto tunnel

Michele Genovese^{1*}, Giambattista Toller², Stefano Corradini², Daniele Prodorutti³, Davide Profazer³, Claudio Ioriatti⁴

Riassunto: L'attività metabolica e fisiologica della fragola (*Fragaria x ananassa*, Duch) var. *Elsanta* coltivata in tunnel e fuori suolo risulta fortemente condizionata da temperature maggiori di 28°C.

Al fine di valutare le potenzialità dell'irrigazione climatizzante su fragola in Trentino, è stato predisposto un sistema di microaspirazione sovrachioma volto a individuare l'ottimale tempo di bagnatura-asciugatura dal punto di vista fitosanitario con quattro cicli irrigazione-attesa a confronto: (-; -), (30 s; 30 min), (40; 45), (70; 80). Con soglia di attivazione a temperatura $T_{\text{tunnel}} > 28^\circ\text{C}$ e umidità relativa UR tunnel $< 80\%$.

Le misure di scambi gassosi mostravano delle differenze in termini di assimilazione netta delle foglie irrigate sovrachioma rispetto al controllo. La traspirazione risultava maggiore nel controllo con valori di conduttanza stomatica non significativamente diversi tra i trattamenti, questo fa supporre che la riduzione della traspirazione fosse legata alla minore domanda evapotraspirativa dell'ambiente circostante la foglia in condizioni di umidità relativa più alta.

Parole chiave: *Elsanta*, stress termico, microclima, fotosintesi.

Abstract: Metabolic and physiological activity of strawberry plant (*Fragaria x ananassa*, Duch) var. *Elsanta* growth under high tunnel condition seems to be strongly affected by temperature over 28°C.

In order to evaluate the efficiency of overhead irrigation on strawberry microclimate, in Trentino area, a remote system control of overhead sprinkler irrigation was switched on when air temperature and relative humidity parameters measured at canopy level were respectively $T_{\text{tunnel}} > 28^\circ\text{C}$ and relative humidity UR $T_{\text{tunnel}} < 80\%$ with four different irrigation-stop interval as treatments: Control (-; -), (30 s; 30 min), (40 s; 45min), (70 s; 80 min).

The gas exchange measurement showed a significant difference between sprinkled treatments and control, with high net assimilation rate for all sprinkled treatment compared to the control. The transpiration was high for control treatment, this let suppose that observed differences in transpiration rate were related to low environmental evapotranspiration demand of air surrounded leaves.

Keywords: *Elsanta*, heat stress, microclimate, photosynthesis.

INTRODUZIONE

Gli stress termici possono causare danni irreversibili alle piante ed ai frutti: riduzione dell'attività fotosintetica (Borah, *et al.* 1969) perdita del turgore cellulare, distruzione di proteine importanti per la funzionalità del fotosistema II, sintesi di tossine, collasso, morte dei tessuti della pianta (Hopkins, 1999), danno diretto ai frutti come il sunburn (Genovese *et al.* 2010, Renquis *et al.* 1983) e ripercussioni sulla loro pezzatura.

Molti studi trattano dell'influenza che la temperatura può avere sulla crescita della pianta e sull'attività fotosintetica (Schrader *et al.* 2004, Bernacchi C. J. *et al.* 2002, 2003); temperature superiori a 30 °C possono indurre la chiusura degli stomi, una riduzione della conduttanza stomatica (gs) con riduzione della traspirazione ed incremento della temperatura fogliare.

Alte temperature possono causare una riduzione dell'attività fotosintetica ed un incremento dell'attività di respirazione di pianta e frutti con un elevato consumo di carboidrati e sostanze di riserva utilizzati dalla pianta per far fronte alle sue esigenze energetiche a sostegno dell'attività metabolica.

Inoltre, l'adozione di films plastici neri, per le coltivazioni in suolo, rispetto al terreno nudo possono incrementare la temperatura delle foglie ed influenzare il microclima prossimo alla

* Corresponding Author email: michele.genovese@iasma.it

¹ Unità produzioni ortoflorofruitticole - Fondazione E. Mach - Istituto Agrario di S. Michele a/A, (TN) Italy.

² Unità Sistema Informativo Geografico- Fondazione E. Mach - Istituto Agrario di S. Michele a/A, S. Michele a/A (TN).

³ Unità Fitoiatria - E. Mach - Istituto Agrario di S. Michele a/A, S. Michele a/A (TN).

⁴ Dipartimento Sperimentazione - E. Mach - Istituto Agrario di S. Michele a/A, S. Michele a/A (TN).

Received 11 June 2011 accepted 21 June 2011

pianta, in seguito alla trasmissione del calore per diffusione (Tarara *et al.* 2000).

La temperatura ottimale per lo sviluppo fogliare e per la crescita della pianta di fragola è compresa tra 15 ed i 28°C a seconda delle cultivars. L'attività del fotosistema II risulta essere fortemente condizionata dalle alte temperature fino compromissione della funzionalità di alcuni enzimi che regolano lo svolgimento di importanti funzioni della pianta.

L'umidità può influenzare la traspirazione della pianta e gli scambi gassosi, intervenendo sull'apertura stomatica (Lange *et al.*, 1971; Schulze *et al.*, 1974); le cellule di guardia, rispondono bene ad ogni variazione di turgore della foglia modulando l'apertura stomatica e l'efficienza d'uso dell'acqua della pianta (WUE).

La forza motrice che guida la traspirazione di una pianta è rappresentata dalla variazione del deficit di pressione (VPD) che include parametri quali la temperatura della foglia (T_{leaf}), la temperatura ambiente, l'umidità relativa dell'ambiente (RH_{air}). La traspirazione della foglia è direttamente proporzionale alla differenza di pressione di vapore (VPD), pertanto il VPD rappresenta un indice importante che descrive bene l'influenza dell'umidità sulla traspirazione della foglia; in ogni caso qualora l'umidità interna della foglia (intendendo quella della camera sottostomatica) fosse inferiore al 98%, la traspirazione della foglia viene influenzata in maniera più incisiva dall'umidità ambientale.

L'adozione di tecniche volte a contenere gli effetti di stress termici sulla produzione e sulla qualità dei frutti, quale l'irrigazione sovrachiuma, potrebbe rappresentare un valido mezzo di mitigazione degli stress termici nelle piante di fragola.

MATERIALI E METODI

L'esperimento è stato condotto durante la stagione 2010 utilizzando piante di fragola var. El-santa coltivata fuori suolo su substrato di torba (Luglio-Ottobre), in un'azienda gestita secondo criteri di ordinarietà in agro di Pergine Valsugana (TN).

I tunnel che ospitavano le piante erano delle dimensioni 20 m X 5 m con telo a luce diffusa come copertura antipioggia aperti lateralmente ed alle due estremità terminali; le piante erano disposte su 4 file collocate in contenitori in numero di 6 piante per ognuno.

L'irrigazione delle fragole fuorisuolo era fornita da due impianti: uno per la fertirrigazione con

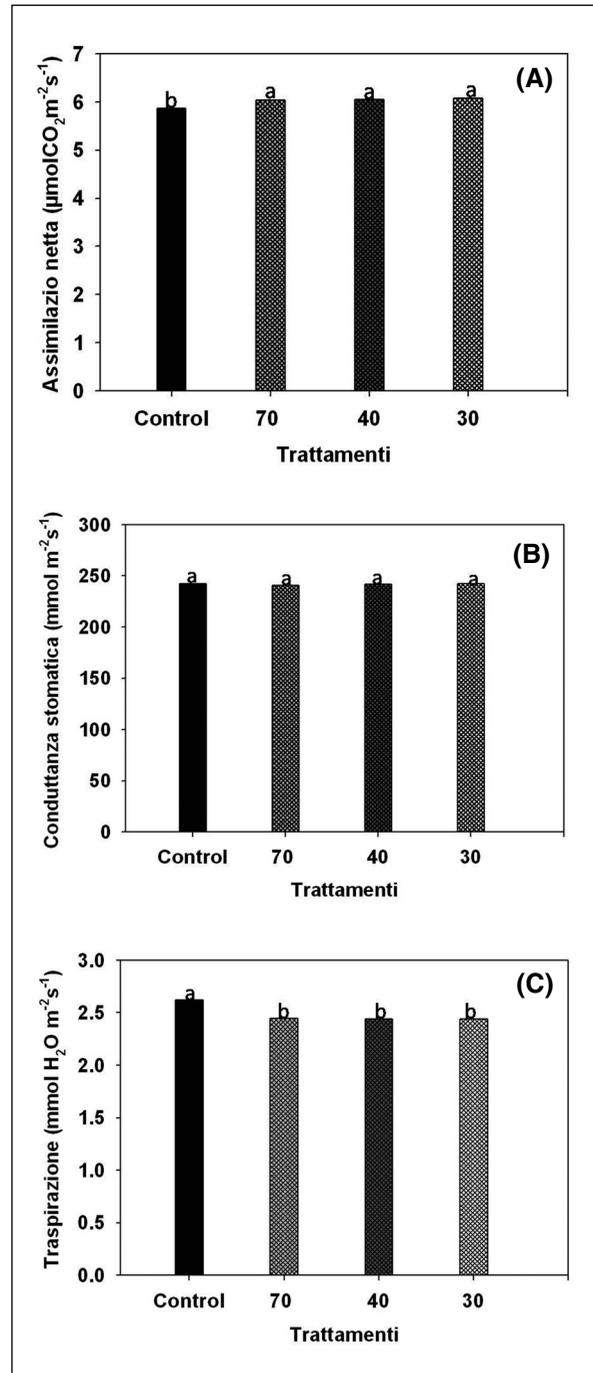


Fig. 1 - Assimilazione netta (A); Conduttanza stomatica (B), Traspirazione (C) nei differenti trattamenti e durante la stagione, ogni punto del grafico rappresenta la media 5 foglie per trattamento e per epoca di misura; lettere differenti indicano differenze statisticamente significative tra i trattamenti Tukey's HDS test $p < 0.05$.

Fig. 1 - Stomatal conductance (A); Transpiration rate (B); Net assimilation rate (C) for different treatments and during strawberry growth season, each data point represent a mean of 5 leaves at three different sampling time.

Different letter indicate statistical significance among treatments Tukey's HDS test $p < 0.05$.

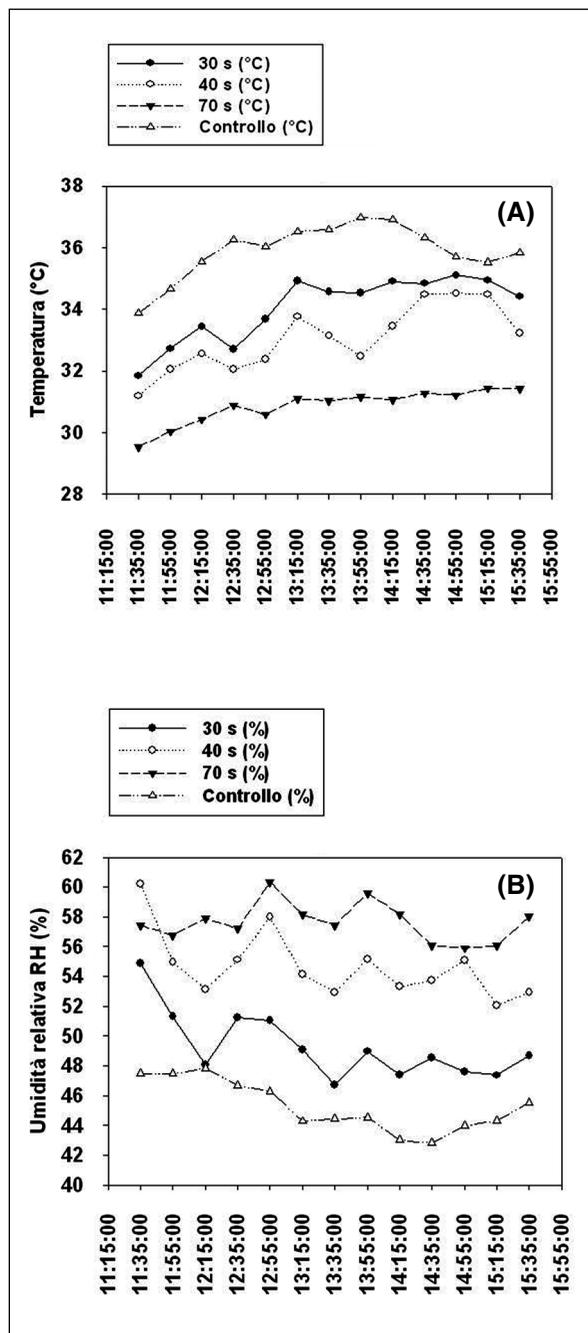


Fig. 2 - Andamento della temperatura (A) e umidità relativa (B) a livello della chioma e temperatura ambiente per i trattamenti: (70s), (40 s), (30 s) e (Controllo) dalle ore 11:50 AM alle 3:15 PM.

Fig. 2 - *Temperature (A) and relative humidity (B) trend measured at canopy level for: (70 s), (40 s), (30 s) and (Controllo) from 11:50 AM to 3:15 PM.*

capillari che si diramavano dal tubo di condotta principale verso i vasi di coltivazione, un secondo, a scopo climatizzante, era costituito da un impianto di microaspirazione sovrachioma posi-

zionato sulla fila centrale circa 1,00 m sopra la chioma delle piante.

I microgetti della portata di 35 L/ h erano azionati da una centralina interfacciata al datalogger TMF500® della ditta Nesa s.r.l. collegato ad un modem per il telecontrollo gestibile dal sito <http://meteo.iasma.it/meteo/fragole/>. Al datalogger erano collegati sensori Nesa di temperatura e umidità dell'aria, muniti di schermo radiativo e posizionati in numero di due per ogni tunnel, per un totale di 8 sensori. I trattamenti imposti erano: 70 secondi di bagnatura con 80 minuti di interruzione tra due cicli di attivazione, 40 secondi di bagnatura con 45 minuti di interruzione, 30 secondi di bagnatura con 30 minuti interruzione ed infine una tesi di controllo ove l'irrigazione sovrachioma era inattiva.

Il sistema di microaspirazione era attivo dalle ore 8:00 AM alle 6:00 PM al verificarsi di particolari condizioni di temperatura ed umidità rilevata dai sensori, con soglie di attivazione per la temperatura maggiori di 28°C e valori di umidità relativa



Fig. 3 - Sensori di temperature IR e di bagnatura fogliare.
Fig. 3 - *Ir temperature sensor and leaf wetness sensor.*

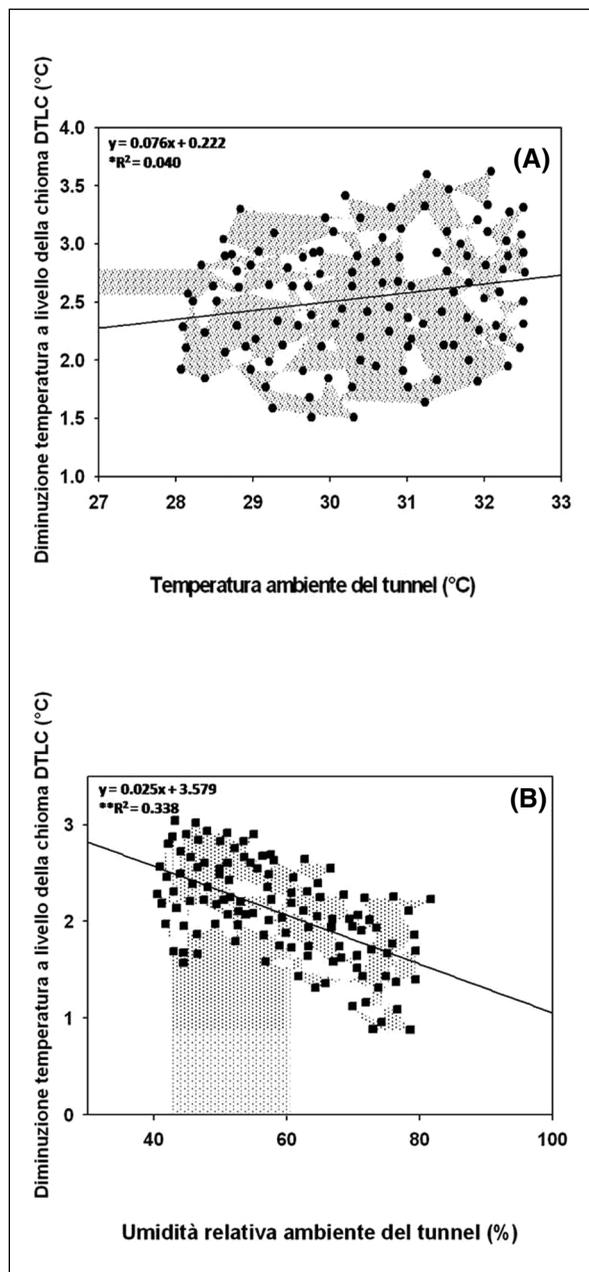


Fig. 4 - Differenza di temperatura misurata a livello della chioma tra temperatura registrata prima dell'attivazione dell'asperzione e temperatura minima raggiunta dopo l'evento per il trattamento 30 s: (A) in relazione alla temperatura ambiente del tunnel T_{tunnel} **R Pearson Significatività $p < 0.01$; (B) in relazione all'umidità relativa ambiente del tunnel (RH_{tunnel}).

**R Pearson Significance $p < 0.01$

*R Pearson Significance $p < 0.05$

Fig. 4 - Temperature difference measured at canopy level between maximum temperature recorded before sprinkler activation and minimum temperature recorded after activation for 30 s treatment related to air (A) air relative humidity (RH_{tunnel}) and (B) air temperature T_{tunnel} .

**R Pearson Significance $p < 0.01$

*R Pearson Significance $p < 0.05$

inferiori all'80% misurati a livello della chioma. La temperatura fogliare era monitorata utilizzando sensori IR RAYTEK® CM 94 mm x Ø 19 (Fig. 3) collegati ad un datalogger COMBILOG LT 1021 della TH Friedrichs & Co, con acquisizioni mediate e registrate ogni 15 minuti.

Durante la stagione erano effettuati rilievi di scambi gassosi, fotosintesi con il Ciras 2 della PP System e dell'efficienza quantica (F_v/F_m) utilizzando il Mini-Pam 210 (Walz) dopo un adattamento al buio delle foglie di 30 minuti. Dette misure erano volte a monitorare condizioni fisiologiche della pianta nei differenti trattamenti e stadi fenologici.

Dati inerenti la produzione e qualità erano registrati per ogni data di raccolta e analizzati con il software statistico R per saggiare le differenze tra i trattamenti.

RISULTATI E DISCUSSIONE

I risultati ottenuti rivelano l'efficienza della microaspirazione nel condizionare il microclima delle piante di fragola coltivate in ambiente protetto.

Tempi di bagnatura più lunghi (70 secondi) tenevano bagnata la foglia per un periodo di tempo maggiore rispetto ai trattamenti 40 e 30 secondi con abbassamenti di temperatura rispetto alla foglia non bagnata di circa 8-10 °C a seconda delle condizioni di temperatura ed umidità dell'aria all'interno del tunnel in accordo con quanto osservato da Wand *et al.* 2002.

I trends di temperatura e umidità monitorati all'altezza della chioma mostravano una relazione positiva tra i tempi di bagnatura applicati ed il condizionamento di temperatura ed umidità Fig. 2 (A, B).

La massima riduzione di temperatura a livello della chioma (data dalla differenza di temperatura misurata prima dell'attivazione dell'irrigazione sovrachioma e la minima raggiunta nell'intervallo di asciugatura prestabilito) era di circa 3°C (Fig. 4 A).

Condizioni di bassa umidità relativa ambientale, facevano osservare una riduzione maggiore della temperatura a livello della chioma (Fig. 4 B) e di conseguenza una maggiore efficienza della tecnica. La figura 4 (A, B) evidenzia come in condizioni ambientali di bassa umidità relativa dell'aria ed alte temperature, la tecnica dell'irrigazione sovrachioma, risulta essere più efficiente nel condizionare il microclima delle piante, rispetto a condizioni di umidità relativa dell'ambiente elevate e basse temperature; pertanto

l'applicazione della tecnica sarebbe da consigliare per ambienti non particolarmente umidi sia per aspetti di natura fitosanitaria che di efficienza nella riduzione della temperatura.

Il trend di assimilazione netta della foglia, ha un andamento parabolico nei confronti della temperatura, con il raggiungimento di un picco alla temperatura di 30°C. Valori di temperatura prossimi a 35°C, rappresentano un punto critico per l'assimilazione netta della foglia, in quanto si assiste ad una riduzione dell'attività fotosintetica, man mano che la temperatura fogliare aumenta (Lakso *et al.* 1994).

I valori di assimilazione netta della foglia risultavano significativamente maggiori per i trattamenti irrigati rispetto al controllo. Quanto osservato mette in evidenza gli effetti positivi che l'irrigazione sovrachioma ha sull'attività fotosintetica. La traspirazione delle foglie nel trattamento non irrigato, risultava significativamente più alta rispetto ai trattamenti irrigati (Fig. 1 C), pur mantenendo valori di conduttanza stomatica non significativamente diversi tra loro (Fig. 1 B). Quanto osservato è imputabile all'alta umidità relativa che interessava l'ambiente circostante le foglie in tunnels soggetti al trattamento di irrigazione sovrachioma (Fig. 2 B) ove la domanda evapotraspirativa dell'ambiente risulta essere contenuta rispetto al trattamento non irrigato.

Le condizioni descritte evidenziano una buona efficienza della tecnica di irrigazione sovrachioma sia nel mitigare gli effetti di alte temperature sulla risposta fisiologica della pianta che nel condizionare il microclima.

Il limite della tecnica, è rappresentato dalla possibilità di insorgenza di botrite o patologie fungine, qualora ci fossero delle condizioni di umidità relativa dell'aria superiori all'80% ed una bagnatura continua della foglia.

I differenti tempi di bagnatura testati, sono risultati sicuri dal punto di vista fitosanitario, in quanto non si sono osservati danni da botrite ascrivibili all'applicazione dei trattamenti.

CONCLUSIONI

I dati qui esposti evidenziano l'efficienza della tecnica nel condizionare il microclima di piante di fragola coltivate in tunnel che per la sua economicità ed efficienza potrebbe rappresentare un valido mezzo di difesa da stress termici, migliorando la risposta fisiologica e produttiva della pianta. L'applicazione dell'irrigazione sovrachioma in annate non particolarmente calde, potrebbe condizionare la fenologia della pianta ri-

tardando la maturazione dei frutti, aspetto di fondamentale importanza per una coltura programmata quale la fragola fuori suolo. Lo studio presentato è stato condotto su una sola varietà; rimangono da approfondire aspetti legati all'applicazione della tecnica su altre varietà di fragola ed eventuali limiti fitosanitari legati a differenti cicli di asciugatura-bagnatura con la finalità di disporre di tempi di bagnatura che abbiano ripercussioni positive sia sulla risposta fisiologica della pianta che sul contenimento di alte temperature.

BIBLIOGRAFIA

- Borah M.N. and Milthorpe E.L. 1969. Growth of the potato as influenced by temperature. *Indian J Plant Physiol* 5: 53-72.
- Bernacchi C.J., Portis A.R., Nakano H., 2002. Temperature response of mesophyll conductance implications for the deactivation of Rubisco enzyme kinetics and for limitations to photosynthesis in vivo. *Plant Physiology*, 130: 1992-1998.
- Bernacchi C.J., Pimentael C., Long S.P., 2003. In vivo temperature response functions of parameters required to model RuBP- limited photosynthesis. *Plant Cell and Environment*, 26: 1419-1430.
- Genovese M., Nuzzo V., Shackel K.A., Matthews M. A. 2010. Scottature solari su vite, come e quando insorgono e come evitarle. *Informatore Agrario*, 66-23: 45-50.
- Hopkins W.G., 1999. *Introduction to plant physiology*. 2nd Ed. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England.
- Iglesias I., Salvia J., Torguet L., Cabus C., 2002. Orchard cooling with overtree microsprinkler irrigation to improve fruit color and quality of 'Topred Delicious' apples. *Sci. Hort.* 93, 39-51.
- Lakso A.N., 1994. Apple. In: Scaffer B.S., and Andersen P.C. (eds.) *Handbook of Environmental Physiology*. VOL.1 CRC Press, Boca Raton: 3-42.
- Lange O.L., Losch R., Schulze E.-D., Kappen L., 1971. Response of stomata to changes in humidity. *Planta (Berl.)* 100: 76-86.
- Parchomchuk P., Meheriuk M., 1996. Orchard cooling with pulsed overtree irrigation to prevent sunburn and improve fruit quality of 'Jonagold' apples. *HortScience* 31: 802-804.
- Renfrew A.R., Breen P.J., Martin L.W. 1983. Influences of water stress and temperature on leaf elongation in strawberry. *Scientia Hort.*: 18, p.77-85.

- Schrader S.M., Wise R.R., Wacholtz W.F., *et al.* Thylakoid membrane responses to moderately high leaf temperature in pima cotton. *Plant Cell and Environment*, 2004, 27: 725-735.
- Schulze E.D., Lange O.L., Evenari M., Kappen L., Buschbom U., 1974. The role of air humidity and leaf temperature in controlling stomatal resistance of *Prunus armeniaca* L. under desert conditions. I. A simulation of the daily course of stomatal resistance. *Oecologia (Berl.)* 17: 159-170.
- Tarara J.M., Ferguson J.C., Spayd S.E., 2000. A chamber-free method of heating and cooling grape clusters in the vineyard. *Am. J. Enol. Vitic.* 51, 182-188.
- Wand S.J.E., Steyn W.J., Mdluli M.J., Marais S.J.S., Jacobs G., 2002. Overtree evaporative cooling for fruit quality enhancement. *South African Fruit J.*: 18-21.

Development of Zanjan province dry land wheat atlas

Pegah Mollaei¹*

Abstract: In this study we analysed climate capabilities and limitations for dry land wheat. The study takes into account and analyzed the rainfall and temperature data of the research region. In the first stage, proper planting date was defined according to the first rain after September. Then the different levels of dry planting wheat's growth was calculated by the GDD method. In the following stage annually and in autumn, winter, spring and June rainfall were reviewed and the average was calculated. The probability of germination temperatures, maximum temperature 25 and 30 °C in the flowering stage and grain filling stage was also calculated. The calculated quantities in the GIS system by using the overlap method: were first given a weighing value and afterwards were incorporated. Then finally Zanjan Provinces Dry Land Wheat Atlas area was classified in 4 zones: Very suitable lands, Suitable land, Average lands and Unsuitable lands was prepared.

Keywords: Rainfall, GIS, GDD, Planting date.

Riassunto: In questo studio sono state analizzate le potenzialità ed i limiti climatici per la coltivazione del frumento non irrigato. Lo studio prende in considerazione e analizza i dati di precipitazioni e temperatura relativi all'areale oggetto della ricerca. Nella prima fase, è stata definita la data di semina sulla base della prima pioggia verificatasi dopo il mese di settembre. Successivamente i diversi livelli di crescita del grano non irrigato sono stati stimati con il metodo GDD. Nella fase successiva le precipitazioni sono state ricalcolate sia livello annuale sia per le diverse stagioni e per il mese di giugno e si è provveduto a calcolarne la media. È stata calcolata inoltre la probabilità del verificarsi di temperature di germinazione, di temperature massime di 25 e 30° C nella fase di fioritura e riempimento delle cariossidi. Le quantità calcolate sono state riportate nel sistema GIS, utilizzando il metodo di sovrapposizione. Alla fine sono state distinte 4 aree di coltivazione del frumento non irrigato nella Provincia Zanjan. È stato elaborato un atlante in cui si differenziano terreni molto adatti, terreni adatti, terreni medi e terreni inadatti.

Parole chiave: Pioggia, GIS, GDD, data di impianto.

INTRODUCTION

Various studies around the world have taken place on the relation between climate factors and plant development. In wheat as the most important crop, needed for humans, we face some national and international articles, which are mentioned, in the following. Norwood (2000), studied on planting dryland wheat in the great plains of Kansas. Sharma *et al.* (2006) evaluated the effect at high temperature on grain growth in different types of wheat. Ouda *et al.* (2005) evaluated the effect of planting dates and water stress on wheat production in the south delta. Farajzadeh and Taklobighash (2001) did Bandab agroclimatic area of Hamadan province in a GIS area according to dryland wheat planting.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted in Zanjan province (Iran). After the data was gathered, because of lack of long term statistical stations in Zanjan, the statistics were

gathered from the neighbor provinces. At first, the data gaps were filled according to the difference and ratio methods.

Also the run test exam was used to evaluate data homogeneity. Afterwards the specified region's climate was classified by Jamab according Domarton and Ambrejeh climate thumb methods (personal communication). In the next level, rainfall geographical distributions were evaluated annually and in autumn, winter, spring and June month intervals. The first day in which the precipitation in one or two consecutive days is more than 5 mm was determined analyzing the precipitation series (Bazgir 1999). Consequently the dryland wheat sowing date was determined.

According to the achieved sowing dates, and due to the required thermal units for different dryland wheat levels development, in the region, the results are as following:

- Planting until becoming green: 180 degree day
- Planting until the beginning of flowering stage: 1300 degree day
- Planting until the finishing of flowering stage: 1500 degree day
- Planting until complete growth: 2300 degree day (Behnia, 1997)

* Corresponding Author email: p.mollaei@yahoo.com

¹ Msc in Agrometeorology, Zanjan meteorological organization (Iran), Ansariyeh Township, Zanjan, Iran.

Received 13 May 2011 accepted 21 June 2011

GROWTH DURATION	D				SOWING DATE	STATION
	2000	1500	1000	500		
209	20 APR	8 JAN	9 DEC	20 CT	24 SEP	Anzali
274	19 JULY	15 JUN	22 MAY	5 Nov	21 OCT	bijar
247	19 JUNE	10 MAY	12 APR	28 oct	16 OCT	guzvin
275	12 JULY	5 JUNE	9 MAY	25 oct	11 OCT	gorveh
272	18 JULY	12 JUNE	21 MAY	6 NOV	20 OCT	hamaclan
309	9 AUG	29 JUNE	6 JUNE	5 NOV	5 OCT	khalkhal
279	14 JULY	6 JUNE	15 MAY	23 OCT	9 OCT	khodabandeh
268	4 JULY	24 MAY	26 APR	24 OCT	10 OCT	khoramdarreh
203	3 APR	6 MARH	23 JAN	23 OCT	13 OCT	manjil
253	23 JUN	17 MAY	5 APR	26 OCT	14 OCT	mianeh
210	21 APR	22 JAN	11 DEC	11 oct	24 OCT	Rasht
294	29 JULY	21 JUN	31 MAY	26 OCT	9 OCT	Takab
281	14 JULY	4 JUN	7 MAY	22 OCT	7 OCT	Zanjan
309	15 AUG	8 JULY	17 JUN	31 OCT	11 OCT	zarineh

Tab. 1 - Sowing date and the best dates to achieve the required GDD for each growth stage.

Tab. 1 - Date di semina e la migliore data per ottenere il GDD richiesto per ogni fase di crescita.

The wheat growth periods were defined as: becoming green, flowering and grain filling stages. The dryland wheat temperature requirement were evaluated and the probability of wheat budding between 12°C to 20°C and also the probability of maximum 25°C daily or higher in flowering stage, and the probability of 30°C daily or higher in grain filling stage was calculated.

It should be noted that for all these calculations and for defining the best probabilistic distribution function, Excel and Hyfa software were used.

In the last step all the probabilities and calculated amounts in the GIS environment were converted into digital maps and by using overlapping method; all the layers were combined and finally the dryland wheat Atlas of Zanjan province was produced.

RESULTS AND DISCUSSION

The accuracy of the achieved data is limited and then these data must be modified according to real information based on farmers' polls.

The analysis of meteorological data for the last 15 years (1990 – 2004) evidenced that the lack of rainfalls of the last years causes drought period in this region then the budding season and the other growth stages had a delay. Despite the rainfall delays, the farmers sowed but some seeds were destroyed or their viability was reduced.

This research is only based on the climate data, it

could be taken into considerations other factors such as, terrain, topography of the region, soil type, lack of integrity and small pieces of farming land, farmers lack of awareness, using traditional methods, using proper digits and etc, to have an accurate determination on fertile lands.

CONCLUSIONS

The analysis of climatic data in the Zanjan province defines a cold semi-arid climate. Generally it has the conditions for planting dryland wheat.

According to the dates of wheat growth stages, (Tab. 1), the shortest growth period is 203 days (Manjil) and the longest growth period was 309 days. (Khalkhaal and Zarineh Obato).

The final province map is divided in 4 regions according to the dryland wheat sowing vocation as follows (Fig. 1):

- Very suitable lands: (1152.5 km²) this region covers about 5.2% of whole Zanjan province's area and includes northern parts, center of Khodabandeh and eastern Ijroud.
- Suitable land: (10494.7 km²) this vast area represents about 47.35% of the province and includes most of the central parts of the province, northern and southern parts of Zanjan county, Mahneshan eastern parts, northern and western parts of Abhar, most areas of Khorramderreh east and

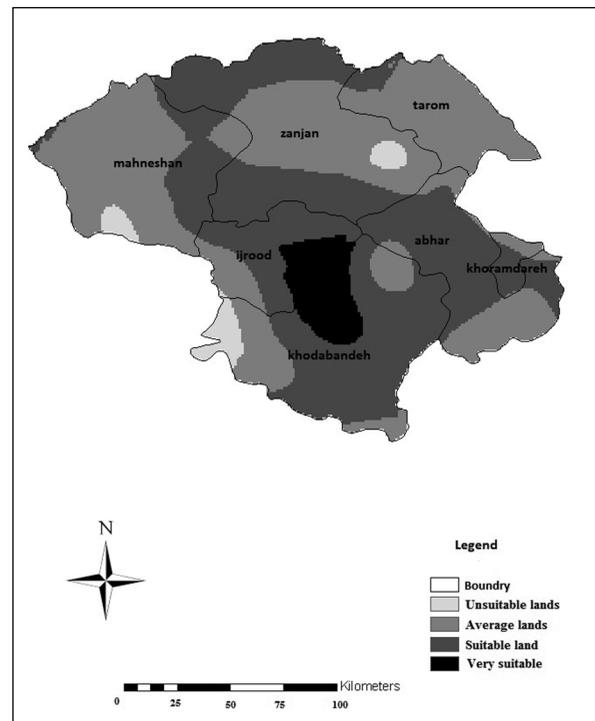


Fig. 1 - Zanjan province dry land wheat atlas.
Fig. 1 - Atlante del frumento non irrigato della Provincia di Zanjan.

center of Khodabandeh, and Ijroud counties east and north.

Average lands: (9891.8 km²). This area represents about 44.63% of the province. These areas are mainly located in Tarom county, center of Zanjan county, south of Abhar, west of Mahneshan, west of Ijroud and Khodabandeh. In these regions, dryland wheat cultivation could meet some problems due the possible drought period

Unsuitable lands. This area is about 2.82% (625 km²) of the whole province which is located in east of Zanjan county, west of Khodabandeh county and south of Mahneshan. This areas is no suitable for wheat cultivation for adverse climatic condition.

REFERENCES

- Bazgir S., 1999. Agroclimatic Zoning of KORDESTAN Province for Rain feed Wheat. Msc. Thesis, University of TEHERAN.
- Behnia M., 1997. Cold Season Cereals. TEHERAN University Press, Second Edition, 610.
- Faraj Zadeh M., Taklobighash A., 2001. Agroclimatic Zoning of HAMADAN Area Using GIS with Emphasis on Wheat. Journal of Geographical Resarch, 41: 93-105.
- Norwood charls A., 2000. Dry land Winter Wheat as Affected by Previous Crops, Journal of Agronomy, 92: 121-127.
- Ouda S.A., El-marsafawy S.M., El-kholy M.A., Gaballah M.S., 2005. Simulating the Effect of Water Stress and Different Sowing Dates on Wheat Production in South Delta. Journal of Applied Sciences Research, 3: 268-276.
- Sharma Natu P., Sumesh K.V., Lohot Vaibhav D., Ghildiyal M.C., 2006. High Temperature Effect on Growth in Wheat Cultivars an Evaluation of Responses Indian. Journal of Plant Physiology, 11: 239-245.

Il Data Mining nello sviluppo di modelli previsionali per la gestione integrata dell'agricoltura sostenibile

Stefania D'Arpa¹, Emanuele Barca¹, Vito Felice Uricchio¹

Riassunto: Traendo spunto dall'articolata letteratura scientifica in tema di applicazioni del Data Mining (DM) per la gestione integrata dell'informazione ambientale, nel presente lavoro viene tracciato un percorso applicativo riferito alla valorizzazione dei dati di tipo spazializzato al fine di favorire l'adozione di pratiche gestionali che facciano proprie le istanze di sostenibilità ambientale, superando le limitazioni alla produttività legate all'agricoltura puramente biologica. In particolare, partendo dalle problematiche legate all'agricoltura di precisione, si focalizza l'attenzione sulla classe di algoritmi di DM detti "supervisionati" indirizzati alla clusterizzazione delle superfici coltivate delle aziende agricole, illustrandone le potenzialità utili alla definizione di processi decisionali in fase di gestione e pianificazione di interventi. Tale approccio è particolarmente significativo per la gestione integrata dei dati regionalizzati con quelli di carattere ambientale riferiti in particolare alle caratteristiche topografiche e pedologiche del territorio che si vuole modellizzare ed alla natura chimico-fisica del suolo, al tipo di coltivazione avviata, alla disponibilità e qualità delle acque, nonché ad aspetti socioeconomici e congiunturali.

Parole chiave: Sistemi Agrometeorologici; Agricoltura di Precisione; Modelli Previsionali; Data Mining; Spatial Clustering.

Abstract: Starting from the literature concerning applications of Data Mining (DM) for the integrated management of environmental information, in the present work an application path referred to the smart use of spatial data is traced to encourage the adoption of sustainable practices in agriculture, overcoming the limitations to the productivity related to biological agriculture. In particular, this work focuses its attention on the class of DM algorithms called "supervised algorithms" addressed to the clustering of the cultivated area of farms, illustrating its potentiality to define the typical decision making of management and planning of interventions. This approach is particularly significant for the integrated management of regionalized and environmental data to the topographical and soil features of the area that we want to model and to the physical-chemical nature of soil, to the kind of cultivation used, to the availability and quality of the water, as well as economic and socio-economic aspects.

Keywords: Agrometeorological systems; Precision Farming; Predictive models; Data Mining; Spatial Clustering.

INTRODUZIONE

È sempre più condivisa l'opinione secondo cui nella gestione delle problematiche complesse, quali quelle ambientali, agricole ed agroforestali si debbano prediligere approcci integrati piuttosto che settoriali, in cui primaria importanza venga attribuita all'analisi delle relazioni tra le molte parti che contribuiscono alla definizione complessiva dei fenomeni.

L'agrometeorologia con la complessità delle problematiche affrontate è una delle scienze che più si presta ad approcci di studio di tipo integrato ed i sistemi agrometeorologici, studiando i parametri ambientali che direttamente influenzano l'attività e la produzione agricola, sono ottimi strumenti che permettono la gestione di una delle principali priorità da conseguire in agricoltura ed in ambito eco-ambientale in generale: la sostenibilità.

Un tipico esempio di pratica agricola orientata alla

sostenibilità del sistema ambientale è la cosiddetta "agricoltura di precisione".

L'agricoltura di precisione (nota anche come *precision agriculture* o *precision farming*) nasce come pratica agricola codificata negli anni '80 in seguito a ricerche ed applicazioni effettuate negli Stati Uniti ed in Australia (Colby Torbett *et al.*, 2007; Pringle and McBratney, 2004). Il paradigma applicativo dell'agricoltura di precisione è quello di una gestione delle superfici agricole aziendali che tenga conto della variabilità intrinseca e indotta del suolo e delle specifiche esigenze delle colture, al fine di incrementare la produzione, minimizzare i danni ambientali ed elevare gli standard qualitativi dei prodotti agricoli (Pierce and Nowak, 1990; National Research Council, 1997; Robert, 2002).

Uno dei più ambiziosi ed interessanti aspetti che emerge dalla filosofia di impostazione delle tecniche agricole di precisione è, quindi, il tentativo di coniugare due obiettivi apparentemente inconciliabili: la massimizzazione della produttività

⁰ Corresponding Author e-mail: stefania.darpa@ba.irsra.cnr.it

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque CNR-IRSA.

riducendo, al contempo, sia i costi ambientali sia quelli economici.

Per perseguire tali obiettivi è necessaria una dettagliata conoscenza di parametri colturali, topografici e meteo-ambientali. Possedendo tali informazioni, infatti, è possibile operare la razionalizzazione delle principali fasi che intervengono nel processo di coltivazione e ribaltare l'assunto dell'agricoltura biologica in base al quale l'applicazione di metodologie sostenibili influenzi negativamente l'andamento di resa delle colture. Tali metodologie infatti, operando la scelta di non utilizzare antiparassitari e/o fito-farmaci ma antagonisti biologici di parassiti ed infestanti, rinunciano consapevolmente ad una parte della resa colturale.

La fertilizzazione e l'irrigazione, in particolare, sono due momenti cruciali che intervengono nel processo di coltivazione

Ottimizzare tali fasi razionalizzando, ad esempio, l'utilizzo di fertilizzanti ed acqua può essere un utile strumento per migliorare qualitativamente e quantitativamente le rese colturali, riducendo l'impatto ambientale.

Possedendo dettagliate conoscenze di tutti i parametri che intervengono in tali fasi, le aziende agricole, utilizzando l'agricoltura di precisione, possono implementare modelli numerici contenenti una griglia di dettaglio in cui ad ogni punto sono associati un grande numero di attributi quali: posizione geografica, quota, esposizione, irradiazione, contenuto idrico del suolo, contenuto di sostanza organica, etc. Tali informazioni concorrono a formare un *dataset* di dati eterogenei in grado di pilotare macchine fertilizzatrici e sistemi automatici di irrigazione distribuendo sulla superficie coltivata, opportunamente partizionata in aree omogenee, la giusta quantità di acqua e fertilizzante. Per condurre un tale tipo di gestione (che viene non per caso detta "di precisione") è ovviamente necessaria un'approfondita analisi spazio-temporale dei dati disponibili, ovvero, diventa necessario conoscere ad ogni ciclo di ferti-irrigazione, la variazione spaziale di contenuto idrico e di sostanza organica del suolo, e, al contempo, la quantità di irraggiamento e di umidità già assorbita dalla coltura al fine di stimare le quantità da fornire e prevedere i periodi di raccolta.

La quantità di informazioni da gestire per applicare in maniera più efficace e corretta questo tipo di pratica agricola, dunque, è davvero imponente e richiede l'applicazione di specifiche metodologie di analisi dei dati, quali quelle di *Data Mining* (Hand *et al.*, 2001), in cui l'estrazione di *patterns* significativi da grandi masse di dati, attraverso

l'implementazione di algoritmi, può rivelarsi un passaggio estremamente efficace per produrre conoscenza utile ai processi decisionali coinvolti nell'iter di applicazione dell'agricoltura di precisione.

Obiettivo del presente lavoro è illustrare come gli algoritmi di DM implementati nell'analisi di grandi *dataset* come quelli che provengono dai monitoraggi a monte dell'agricoltura di precisione possono, attraverso il riconoscimento di *patterns* significativi, facilitare e valorizzare il processo di sviluppo di modelli previsionali utili alla gestione sostenibile dell'attività agricola.

Di seguito sarà proposta una metodologia speditiva e supervisionata per procedere alla clusterizzazione di un'area sottoposta a coltivazione sotto l'egida dell'agricoltura di precisione.

MATERIALI E METODI

Agricoltura di precisione e problematiche connesse

L'agricoltura di precisione può essere descritta come un processo articolato in alcune fasi:

- la raccolta dei dati (in genere estremamente eterogenei);
- l'elaborazione e la definizione di un modello spaziale dell'area interessata;
- la gestione automatizzata dei cicli che concorrono alla coltivazione attraverso una mappa delle prescrizioni;
- aggiornamento dei dati (Fig. 1)

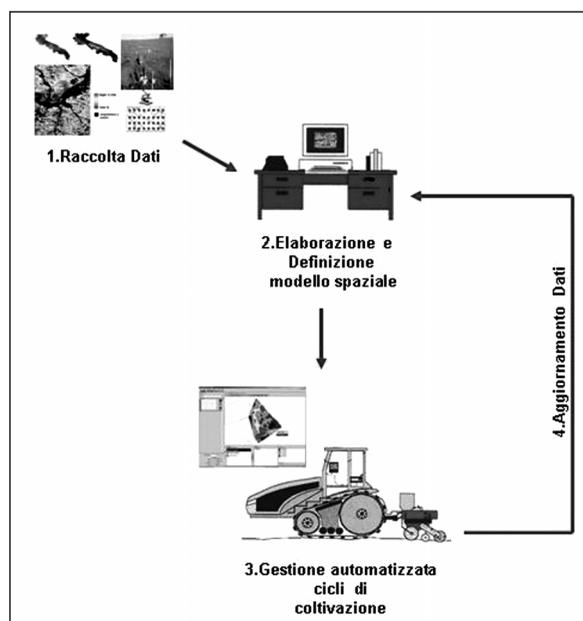


Fig. 1 - Schematizzazione fasi in agricoltura di precisione.
Fig. 1 - Scheme of the phases of precision farming.

Come è facile intendere, si tratta di una procedura di tipo iterativo poiché ad ogni intervento sul campo le informazioni disponibili saranno aggiornate ed il modello spaziale dell'area interessata eventualmente rimodulato in base agli aggiornamenti introdotti.

In questa prima fase si distingueranno due tipologie di dati:

- dati puramente spaziali (coordinate, tutti i dati estraibili da un DEM oppure un DTM) che sono invarianti rispetto al tempo;
- dati spazio-temporali (pioggia, umidità dell'aria, evapotraspirazione, umidità del suolo, contenuto di sostanza organica, etc) che sono quelli che necessitano di essere costantemente aggiornati.

Dal punto di vista dei costi di gestione, la fase di raccolta dati rappresenta un onere del processo descritto, anche se, evidentemente i costi possono differire a seconda dei casi.

I costi relativi alla disponibilità dei dati puramente spaziali sono ovviamente da considerarsi costi "una tantum" solo alla partenza del processo, mentre i dati spazio-temporali necessitano di un continuo aggiornamento e quindi, rappresentano costi che si rinnovano nel tempo.

La raccolta dei dati utili si può avvantaggiare di tecniche di acquisizione diretta o differita.

L'acquisizione diretta può avvenire tramite sensori multiparametrici, installati su autoveicoli dotati di GPS e di una guida per effettuare "strisciate" rettilinee, con la capacità di misurare i parametri di interesse in tempo reale con un elevato livello di dettaglio spaziale.

Fra le tecniche di acquisizione dati differita importanti fonti di informazioni ci provengono dal *remote data sensing* e dalle immagini telerilevate catturate attraverso sensori presenti su satelliti o aerei che consentono di valutare caratteristiche chimico-fisiche dei suoli e/o parametri fisiologici dei tessuti vegetali.

Una volta acquisite tali informazioni di dettaglio l'area coltivata, viene suddivisa in aree omogenee rispetto ai parametri monitorati e vengono sintetizzate delle "mappe di prescrizione" che, noti i parametri del tipo di coltivazione interessata, contengono le strategie di intervento, da abbinare a ciascuno dei *cluster* individuati nell'area, espresse in un formato numerico adeguato a pilotare macchinari *computer aided*. L'obiettivo di tale sforzo è quello di uniformare l'intera area agricola nel rispetto dei parametri colturali, fornendo il giusto apporto di risorse in ogni punto dell'area ed ottenere, alla fine, la massima resa.

Il DM e la *cluster analysis* supervisionata

Nella fase di monitoraggio i dati vengono organizzati secondo l'usuale struttura delle matrici *casi x variabili*, in cui la riga rappresenta la batteria di misure effettuata in corrispondenza di un punto dello spazio, mentre le colonne rappresentano tutti i valori misurati di una specifica grandezza (es. la concentrazione di nitrato nel suolo). L'approccio consueto quando si vogliono individuare aree omogenee dal punto di vista spaziale è quello dell'applicazione della geostatistica (Chiles, and Delfiner, 1999).

La geostatistica è una disciplina che studia la variabilità spaziale di grandezze che presentano dei *patterns* di autocorrelazione, ossia che obbediscano alla cosiddetta "prima legge della geografia", secondo la quale due punti spazialmente prossimi mostrano in genere di avere attributi molto più simili rispetto a punti spazialmente distanti (Tobler, 1970). Tale studio del comportamento spaziale viene condotto mediante variografia o "analisi strutturale" che attraverso l'osservazione del comportamento dei punti campionati, attribuisce un modello teorico in grado di descrivere la variazione media dei valori assunti dalla variabile, in coppie di punti generici in funzione della distanza (Chiles, and Delfiner, P., 1999). La geostatistica offre, dunque, un quadro metodologico sicuramente potente e flessibile per condurre interpolazioni di variabili autocorrelate in punti non campionati ma necessita, per contro, di approfondite conoscenze possedute solo da tecnici altamente specializzati (ad es. la teoria delle variabili regionalizzate Matheron, 1965).

La proposta avanzata in tale lavoro è quella di sostituire, per i fini di cui ci si propone, la geostatistica con la *cluster analysis* supervisionata (Raykov and Marcoulides, 2008) che è più semplice dal punto di vista metodologico e non necessita conoscenze matematiche particolarmente approfondite anche se si tratta di una metodologia di statistica multivariata.

I metodi supervisionati sono strutturati nel seguente modo:

il set di dati raccolti viene suddiviso in parti prive di sovrapposizioni (subsets): $\langle D_1, D_2 \rangle$; il primo subset, D_1 , viene utilizzato nella prima fase di *training* in cui il sistema viene appunto addestrato a riconoscere i patterns significativi sulla base di esempi dati. Il secondo subset, viene utilizzato nella seconda fase di validazione in cui, il modello addestrato nella fase di *training*, fa delle previsioni che vengono confrontate con il subset D_2 , attraverso indicatori di aderenza (*fitting*); se il modello supera i controlli di aderenza viene accettato e utilizzato per fare previsioni altrimenti si ritorna alla fase di addestramento e così via.

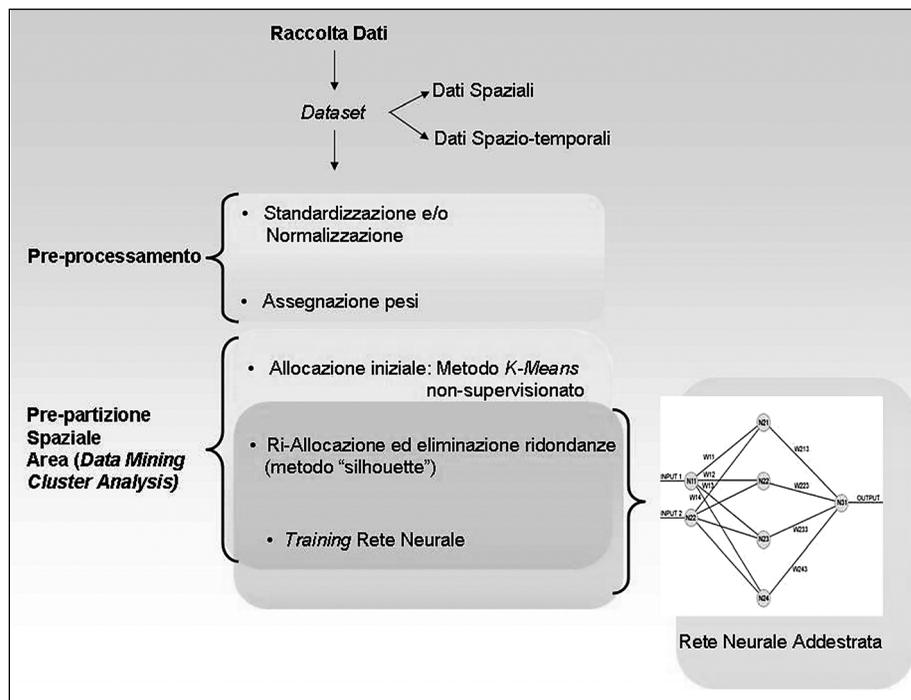


Fig. 2 - Struttura della metodologia proposta.
Fig. 2 - Structure of the proposed methodology.

L'approccio previsto nel presente lavoro propone la creazione di un modello costruito con metodo supervisionato in cui, nella prima fase di training l'applicazione di un algoritmo di DM non supervisionato, un *clustering*, fornisce una prima approssimazione della partizione dell'area di interesse. Nella seconda fase, l'intervento di un operatore corregge le attribuzioni di punti dello spazio a *cluster* ritenute inesatte e procede, nel caso, eliminando *cluster* ridondanti. Questa seconda fase può essere facilmente condotta attraverso strumenti visuali, ad esempio su mappe e cartografia GIS.

L'algoritmo prescelto per condurre l'approssimazione della partizione della prima fase dell'area è il classico algoritmo *k-means* (MacQueen, 1967), basato sulla minimizzazione delle varianze interne ai singoli *cluster* e sulla massimizzazione delle differenze tra le varianze inter-*cluster*. Questo algoritmo possiede un apprezzabile pregio, che lo rende particolarmente adatto al nostro obiettivo di pre-partizione dell'area; è in grado infatti di omogeneizzare in maniera ottimale i singoli cluster, popolandoli iterativamente di individui estremamente simili tra loro e al contempo di differenziare significativamente fra i vari cluster. Lo svantaggio nell'uso del metodo proposto risiede nell'inserimento fra i dati di ingresso, anche del numero di *cluster*; operazione questa che presuppone da parte dell'operatore una conoscenza a priori del numero di parti in cui suddividere l'area di inte-

resse. Tale svantaggio si può superare definendo un numero di cluster superiore a quello realistico in modo che l'operatore, nella fase di training della clusterizzazione potrà, in base alla propria conoscenza del territorio, accorpate tutti i cluster ridondanti.

La definizione del numero iniziale di cluster utile per innescare il metodo *k-means* viene suggerito in letteratura dalla seguente formula:

$$k \approx (n/2)^{1/2}$$

dove n rappresenta il numero di record da cui è composto il dataset (Mardia *et al.*, 1979).

Tuttavia l'applicazione di tale formula, a causa del campionamento di dettaglio effettuato, fornirebbe un numero di cluster iniziale irrealistico e, di conseguenza, appesantirebbe il volume di calcoli da eseguire. Nel presente lavoro si propone un iter alternativo basato su un concetto di buon senso: poiché la clusterizzazione avviene nello spazio reale, si definisce la "parcella minima" come l'unità areale minima da gestire e si pone il numero iniziale di cluster k uguale a

$$k \approx \text{Area Tot.}/\text{parc. min}$$

dove *Area Tot.* è l'area di interesse e *parc. min* è il valore della "parcella minima" che l'operatore si farà carico di definire.

Nella seconda fase di perimetrazione e riallocazione dei cluster, bisognerà far attenzione a vincolare tali raggruppamenti in modo geograficamente coerente, ossia facendo in modo che punti prossimi cadano all'interno degli stessi cluster. Questo effetto si può ottenere in vari modi, ad esempio, semplicemente utilizzando nella matrice *dati x variabili* anche le coordinate geografiche.

Nella fase di riallocazione ed eliminazione supervisionata dei cluster ridondanti, la metodologia proposta utilizza il "metodo *silhouette*", così come documentato in letteratura, attraverso il quale è possibile interpretare e validare l'analisi cluster condotta (Rousseeuw, 1987).

La fase di riallocazione supervisionata dei cluster si riferisce ad una situazione in cui l'algoritmo non è "a regime" e necessita di una fase di *training* per addestrare la rete neurale sottostante. Quest'ultima, nelle successive applicazioni, provvederà a fornire in maniera del tutto automatizzata l'esatta partizione dell'area indagata.

Va inoltre ricordato che al fine di non far sbilanciare l'analisi verso dati che possiedono valori assoluti più grandi, tutto il *dataset* necessita di *standardizzazione* (o *normalizzazione*) un'operazione che ha il doppio pregio di rendere le misure adimensionali e di farle variare grossomodo tra -1 e +1 (Bernstein and Bernstein, 2003). È possibile, attribuire in un secondo momento ai dati così riscalati un fattore moltiplicativo w_i detto peso, compreso tra 0 ed 1 e tale che $\sum w_i = 1$ in modo da conferire nell'analisi più importanza ad una certa variabile piuttosto che ad un'altra ovvero creare ove necessario una gerarchia di importanza delle variabili.

Tutti i dati raccolti durante le campagne di campionamento concorrono alla definizione dei raggruppamenti, per cui il tipo di analisi oltre che spaziale è anche dinamica. Nel caso in discussione sono almeno due le clusterizzazioni sovrapposte da realizzare che, come già detto, riguardano le aree omogenee dal punto di vista del contenuto della sostanza organica nel suolo e quelle omogenee per contenuto idrico.

La metodologia fin qui descritta può dunque essere presentata come una procedura strutturata in fasi, in cui ogni fase prevede un ventaglio di possibili azioni da intraprendere secondo una successione temporale; dalle azioni intraprese derivano delle nuove situazioni che consentono di decidere quale, tra il ventaglio di azioni alternative disponibili, è quella da intraprendere, tornando eventualmente sui propri passi se nuove informazioni sul territorio fossero disponibili (Fig. 2).

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Nell'ambito della gestione integrata ed in particolare in quello dell'agricoltura di precisione il valore aggiunto apportato dall'uso delle tecniche di DM deriva dall'efficienza e dall'accuratezza con cui le sue metodologie ed i suoi algoritmi riescono a gestire i *dataset* facilitando l'identificazione delle zone omogenee rispetto a certe variabili target all'interno di un'area molto più ampia che è, nel caso in specie, la superficie agricola aziendale.

Nel presente lavoro si propone una metodologia, inseribile in un *Decision Support System* (DSS), per la partizione della superficie di un'azienda agricola in aree (*cluster*) omogenee dal punto di vista del contenuto idrico del suolo e del contenuto di materia organica attraverso l'applicazione di un metodo di *clustering* supervisionato organizzato in due fasi: una prima in cui viene eseguita una pre-approssimazione della partizione; a seguire una seconda fase in cui l'intervento manuale di un operatore, unicamente dotato buona conoscenza del territorio, corregge eventuali errori della prima fase e soprattutto, elimina i cluster ridondanti definiti sempre nella precedente fase. Al momento, le variabili considerate sono esclusivamente di tipo numerico, per la precisione, "ad intervalli" (Bernstein and Bernstein, 2003) che sono le variabili più semplici da sottoporre al tipo di analisi proposto. In un futuro sviluppo del presente lavoro, sarà proposto un adattamento della prima fase di partizione approssimata della metodologia, che possa coinvolgere anche variabili di tipo non numerico e non ordinale (categoriale sconnesso) più complicate da trattare. Il pregio della metodologia proposta rispetto ad altre risiede nella sua facilità di applicazione che la rende di facile gestione anche per operatori a digiuno di conoscenze nel campo della statistica matematica e della geostatistica.

BIBLIOGRAFIA

- Bernstein S., Bernstein R., 2003. Statistica descrittiva. McGraw-Hill.
- Chiles J.P., Delfiner P., 1999. Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. Wiley Inter-science.
- Colby Torbett J., Roberts R.K., Larson J.A., English B.C., 2007. Perceived importance of precision farming technologies in improving phosphorus and potassium efficiency in cotton production *Precision Agriculture* 8: 127-137
- Hand D., Mannila H., Smyth P., 2001. Principles of Data Mining. The MIT Press, Cambridge Massachusetts London England.
- MacQueen J.B., 1967. Some Methods for classifi-

- cation and Analysis of Multivariate Observations. In Proc. of the 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkeley, University of California Press.: 281-297.
- Mardia K., Kent J.T., Bibby J., 1979. Multivariate analysis. Academic Press.
- Matheron G., 1965. Les variables régionalisées et leur estimation: une application de la théorie des fonctions aléatoires aux sciences de la nature, Masson, Parigi, Francia.
- National Research Council, 1997. Precision Agriculture in the 21st Century, Geospatial and Information technologies in Crop Management. National Research Academy Press: 16-19.
- Pierce F.S., Nowak P., 1990. Aspects of precision agriculture. Advances in Agronomy, 67: 1-86.
- Robert P.C., 2002. Precision Agriculture: a challenge for crop nutrition management. Plant and Soil, 247, 1: 143-149.
- Pringle M. J., Mcbratney A. B., 2004. Field-Scale Experiments for Site-Specific Crop Management. Part II: A Geostatistical Analysis, Precision Agriculture, 5: 625-645.
- Raykov T., Marcoulides G.A., 2008. An Introduction to Applied Multivariate Analysis - Taylor & Francis group.
- Rousseeuw P.J., 1987. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. J. Comput. Appl. Math., 20: 53-65.
- Tobler W., 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. Economic Geography, 46(2): 234-240.

ABBONAMENTI:

ANNUALE CARTACEO

Italia € 48,00

Estero € 65,00

ANNUALE DIGITALE

Italia € 45,00

Estero € 45,00

ANNUALE CARTACEO+DIGITALE

Italia € 81,00

Estero € 86,00

FASCICOLI SINGOLI

Italia € 20,00

Estero € 28,00

PDF SINGOLI ARTICOLI

acquistabili sul sito

www.patroneditore.com

micologia italiana

Organo Ufficiale dell'Unione
Micologica Italiana

La rivista tratta argomenti legati alla sistematica e all'ecologia dei funghi. Si occupa inoltre della fisiologia e della biochimica dei funghi. Approfondisce con interventi mirati di studiosi la tossicologia e il carattere specifico delle manifestazioni tossicologiche che ne derivano. Tratta della coltivazione dei funghi e aggiorna sia lo studioso sia il cultore sugli ultimi studi nel campo della genetica. Vengono inoltre esaminate le modalità di interazione fra i funghi e gli altri organismi in diversi ambienti. Da anni risulta il periodico fondamentale per chi desidera approfondire le proprie conoscenze in materia.

Direttori:
Gloria Innocenti
Alessandro Ragazzi

Pàtron Editore

via Badini 12

Quarto Inferiore

40057 Granarolo dell'Emilia (BO)

Tel. 051/767003 Fax 051/768252

abbonamenti@patroneditore.comwww.patroneditore.com

Versamento sul c.c.p.
000016141400 intestato a:
Pàtron editore, via Badini 12,
Quarto Inferiore,
40057 Granarolo dell'Emilia (BO)

Bonifico bancario presso:
CARISBO, Agenzia 68,
Via Pertini 8, Quarto Inferiore,
40057 Granarolo dell'Emilia (BO)
BIC IBSPIT2B
IBAN 03 M 06385 36850 07400000782T

Carta di credito a mezzo PAYPAL
www.paypal.it
specificando l'indirizzo e-mail
amministrazione@patroneditore.com
nel modulo di compilazione per
l'invio della conferma
di pagamento all'Editore

