

Le grandezze meteoroclimatiche come variabili guida per gli ecosistemi agricoli e forestali

Luigi Mariani*, Osvaldo Failla

Dipartimento di Produzione Vegetale, Università di Milano
Via Celoria 2, 20123 Milano

Associazione Italiana di Agrometeorologia

Riassunto

Le variabili atmosferiche, il cui comportamento istantaneo definisce le condizioni meteorologiche mentre il comportamento su periodi lunghi definisce il clima, sono da considerare fra le principali variabili guida degli ecosistemi agricoli e forestali. In altri termini tali variabili determinano produttività, qualità e tipicità delle produzioni. Partendo da tale assunto vengono presentati alcuni significativi esempi di come approcci modellistici di diversa natura (empirici o meccanicistici) siano in grado di migliorare il nostro livello di comprensione dei fenomeni e di sviluppare approcci razionali alla gestione dell'agro-ecosistema. Viene altresì evidenziata la necessità di un legame sempre più stretto fra l'agrometeorologia ed altre discipline fisiche e biologiche che indagano l'agro-ecosistema.

Parole chiave: agrometeorologia, agro-ecosistema, modelli di simulazione.

Summary

TITOLO IN INGLESE????

Atmospheric variables, which represent meteorology if seen in their instantaneous behavior or climatology if seen in their long time behavior, can be considered among the main driving variables of agricultural and forest ecosystems. In other words meteoroclimatic variables determine productivity and quality and territorial specificity of agroforestry productions. On the base of this premise some significant examples are shown in order to describe how different modeling approaches (empirical and mechanistic) can improve our degree of description of phenomena and the rationality of our approach to management of agro-ecosystem. The need of strict linkage among agrometeorology and other physical and biological sciences referred to agro-forestry ecosystems is also discussed.

Key-words: agrometeorology, agro-ecosystem, simulation models.

1. Introduzione

Nel linguaggio un po' arido della modellistica applicata all'agro-ecosistema sono considerate "guida" (driving variables) le variabili esterne che determinano il comportamento del sistema senza esserne influenzate. Più in particolare le variabili guida "dicono" alle piante dove e quando vegetare, quanto produrre e che caratteristiche avrà la produzione. Fra le variabili

guida si possono rammentare le variabili fisiche del terreno (temperatura, umidità, ecc.), le variabili fisiche atmosferiche (radiazione, temperatura, precipitazione, umidità, vento, ecc.) le variabili chimiche atmosferiche (es: tenore di CO₂) e le variabili chimiche del terreno (es: tenore in ossigeno e in altri gas, contenuto in sostanza organica e in macro e micronutrienti).

In questa sede ci si limiterà alle sole variabili fisiche atmosferiche, il cui comportamento

* Autore corrispondente: tel.: +39 02 50316587; fax: ?? Indirizzo e-mail: luigi.mariani@unimi.it

istantaneo definisce le condizioni meteorologiche mentre il comportamento su periodi lunghi definisce il clima; in particolare, con alcuni esempi, si cercherà di evidenziare come le variabili meteo-climatiche si presentino come variabili guida della vegetazione naturale e degli ecosistemi agricolo-forestali, influenzando in particolare:

- la distribuzione nello spazio e nel tempo del diverse specie e varietà;
- la produzione agricola dalla semina alla raccolta con effetti che si propagano lungo tutta la filiera agro-alimentare, andando ad incidere su aspetti quali quantità, qualità, tipicità, salubrità, serbevolezza e prezzo dei prodotti agro-alimentari;
- La produzione forestale in termini di incremento annuo delle biomassa legnosa e di qualità del legname prodotto;
- La produttività, la biodiversità e le doti di resilienza degli ecosistemi naturali, con importanti effetti di cui debbono tenere conto le strategie di gestione.

Si cercherà inoltre di evidenziare come le variabili guida atmosferiche evolvano nello spazio e nel tempo seguendo una logica di scala e come alla luce di tali evidenze debbano essere impostate sia le applicazioni territoriali (mesoscala in termini meteorologici) sia le applicazioni micrometeorologiche a livello di singolo campo. Si discuterà infine su come tali evidenze si traducano nella necessità di un approccio interdisciplinare passibile di ricadute positive a livello di produttori agricoli, tecnici ed operatori della filiera agro-alimentare.

Le considerazioni svolte in questa sede saranno riferite al sistema agrometeorologico nazionale italiano, le principali componenti del quale sono:

1. *Sottosistema dei servizi* che si compone di:
 - servizi agrometeorologici regionali o provinciali;
 - un servizio nazionale (CRA-Ucea, che opera in coordinamento con il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica).
2. *Sottosistema della ricerca* che si compone di:
 - Università;
 - Consiglio Nazionale delle Ricerche;
 - Consiglio per la Ricerca in Agricoltura (CRA);
 - Attività di ricerca e sviluppo condotte dai

- Servizi Agrometeorologici;
- Centro Comune di Ricerca di Ispra;
- Agenzie di Sviluppo Agricolo.

3. *Sottosistema dell'industria* che si compone di:
 - industrie produttrici di apparecchiature;
 - industrie produttrici di servizi.

4. *Sottosistema della formazione* in ambito scolastico e universitario.

5. *Sottosistema della diffusione all'utenza* e della divulgazione, che coinvolge i diversi media (quotidiani, periodici, mezzi radio-televisivi, internet, televideo, ecc.).

Le normative internazionali di settore in agrometeorologia sono garantite dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (World Meteorological Organization - WMO) attraverso la Commissione di Meteorologia Agricola. In particolare si rammenta che è in corso di riedizione del Quaderno WMO n. 134 (Guide to Agrometeorological Practices), la cui ultima edizione risale al 1983. Il legame fra i cultori della materia a livello italiano è garantito dall'Associazione Italiana di Agrometeorologia, la quale oltre a tenere meeting annuali su tematiche di rilievo per la categoria produce il quadrimestrale Italian Journal of Agrometeorology (RIAM).

2. Guida atmosferica e distribuzione della vegetazione forestale

La vocazione per le produzioni agro-forestali può essere indagata a livello territoriale analizzando la distribuzione delle diverse variabili agro-meteorologiche. Destinare a specifiche essenze forestali le aree pedo-climaticamente più vocate significa infatti mettersi nelle condizioni idonee ad ottenere i migliori risultati in termini di quantità ma soprattutto di qualità della produzione legnosa. L'esempio che viene qui riportato si riferisce a quattro grandi categorie di essenze arboree (boschi di conifere, boschi di latifoglie, boschi misti e boschi di faggio), la cui distribuzione territoriale è stata analizzata in relazione alle variabili guida atmosferiche. Il clima rappresenta infatti un importante elemento determinante per le specie vegetali che possono insediarsi in un dato ambiente.

A tale evidenza in passato si sono ispirate le molteplici classificazioni macroclimatiche quali la

classificazione di Koeppen o quella di Budyko (Mariani, 2002).

Nel tentativo di individuare indici sufficientemente performanti e che al contempo possedessero una base fisiologica minimale ci si è rivolti al cumulo annuo di unità termiche sulla base di 5 °C (GDD5_{yy}), in quanto il cardinale minimo di 5 °C è spesso indicato come adatto a molte specie arboree delle medie latitudini (Larcher, 1995; Blasi, 1998).

La calibrazione di tale indice è stata eseguita sull'area lombarda utilizzando un inventario forestale che riporta su celle di 1x1 km la percentuale di presenza di quattro macrocategorie di vegetazione arborea (boschi di conifere alpine, boschi di faggio, boschi di latifoglie e boschi misti). Tali dati sono stati correlati con i valori dell'indice GDD5_{yy}, ottenendo gli intervalli riportati nella tabella seguente e che in sostanza rappresentano un set di regole per la caratterizzazione della distribuzione della vegetazione sul territorio.

Tabella 1. Intervallo di valori di unità termiche annue (base = 5 °C) all'interno del quale si verifica la presenza di celle con una presenza di oltre l'80% della specie considerata.

Table 1. Range of yearly values of thermal units (base = 5 °C) that give the presence of above 80% of the given specie in selected cells.

| | Gdd5 _{yy} |
|--------------|--------------------|
| Conifere | 400-1600 |
| Latifoglie | 1600-3200 |
| Boschi misti | 800-2000 |
| Faggio | 1000-2000 |

Applicando tale set di regole ai dati termopluviometrici di un territorio climaticamente diverso da quello lombardo (l'area umbro-marchigiana) si sono ottenute mappe che fornisco-

no una sommaria idea della vocazionalità per le essenze forestali considerate. A titolo di esempio in figura 1 si riportano la mappa delle aree vocate per il faggio e le conifere in base ai valori dell'indice GDD5_{yy}.

L'approccio proposto è ovviamente di prima approssimazione in quanto è noto che è assai difficile isolare l'effetto del clima rispetto ad altri effetti (suolo, competizione interspecifica, effetti antropici, ecc.) che con il clima interagiscono; tale problema rappresenta un importante limite per l'utilizzazione di dati climatici a supporto di caratterizzazioni fitoclimatiche territoriali.

3. Guida atmosferica e caratteri quali-quantitativi delle produzioni agrarie

Il tema del legame fra variabili guida atmosferiche e caratteri quali – quantitativi delle pro-

Tabella 2. Valori di assimilazione lorda di CO₂ (kg ha⁻¹ d⁻¹) con cielo sereno (Fcl) e coperto (Fov), valori per piante C3 coltivate a 45° Nord di latitudine (van Keulen, 1986).

Table 2. Gross assimilation (kg ha⁻¹ d⁻¹) with sky clear (Fcl) or overcast (Fov), estimated for C3 plants at 45° Nord of latitude (van Keulen, 1986).

| Mese | Fcl | Fov |
|-----------|-------|-------|
| Gennaio | 267.5 | 91.5 |
| Febbraio | 384.5 | 141.5 |
| Marzo | 538.5 | 210.0 |
| Aprile | 711.5 | 289.5 |
| Maggio | 838.0 | 348.5 |
| Giugno | 898.0 | 376.0 |
| Luglio | 875.0 | 365.5 |
| Agosto | 772.5 | 318.0 |
| Settembre | 613.0 | 244.0 |
| Ottobre | 440.5 | 166.5 |
| Novembre | 299.0 | 100.0 |
| Dicembre | 238.0 | 79.5 |

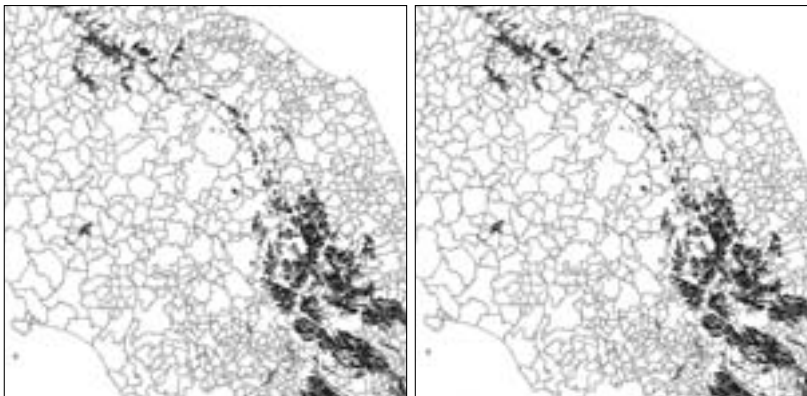


Figura 1. A sinistra in nero viene mostrata l'area vocata per il faggio (*Fagus sylvatica* L.) e a destra quella vocata per le conifere alpine. Le aree sono definite in base alla somma termica a base 5 °C.

Figure 1. The left side map show in black the area optimal for Beech (*Fagus sylvatica* L.); the right one show the area optimal for Alpine conifers. The areas are defined on the base of the yearly sum of thermal units above the base of 5 °C.

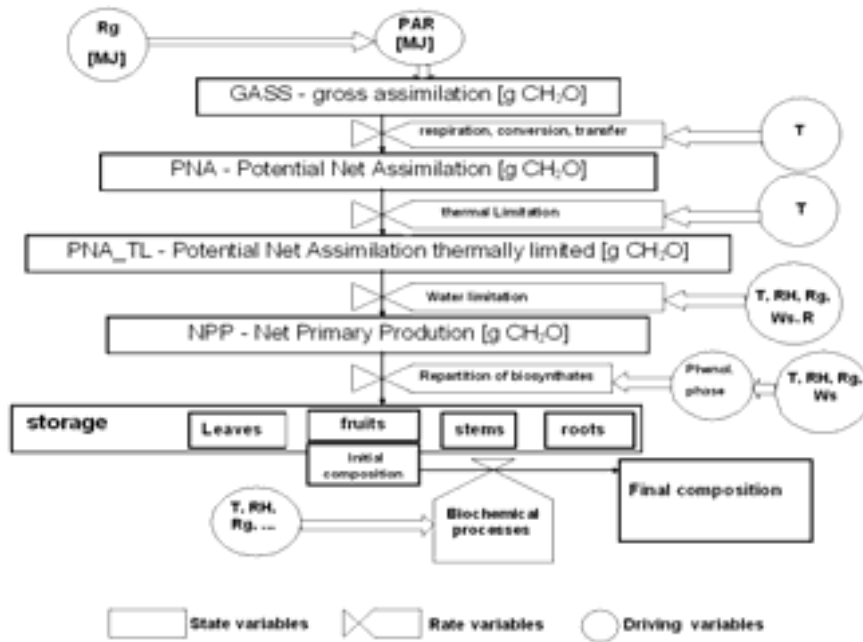


Figura 2. Schema di un modello di produzione a guida meteorologica. I diversi simboli indicano le variabili di stato quelle di flusso (*rate variables*) e quelle guida (*driving variables*). Si noti il ruolo giocato dalle variabili guida atmosferiche che sono rispettivamente la temperatura (T), l'umidità relativa (RH), la velocità del vento (Ws) e la Radiazione solare globale (Rg).

Figure 2. Scheme of a production model driven by meteorological variables. Rectangles are for state variables, valves for rate ones and circles for driving ones. Also evident is the role of atmospheric variables that are temperature (T), relative humidity (RH), wind speed (Ws), global solar radiation (Rg) and precipitation (R).

duzioni agrarie può essere affrontato in termini del tutto generali attraverso un semplice modello di produzione valido per tutte le colture e che è stato schematizzato in figura 2 utilizzando un formalismo tipico della modellistica.

Secondo tale schema il flusso di radiazione solare fotosinteticamente attiva intercettato dalla canopy determina una certa assimilazione lorda (Gross ASSimilation – GASS), di cui a titolo d'esempio si riportano i valori nei diversi mesi dell'anno stimati per 45 °N (tab. 3).

Se alla GASS si detraggono le perdite energetiche per il metabolismo basale, i processi di trasporto e di conversione biochimica (perdite influenzate ad esempio dalla temperatura) si giunge ad una produzione potenziale netta (PNA – Potential Net Assimilation). Su PNA agiscono le limitazioni termiche (ogni specie e varietà presenta infatti dei cardinali termici specifici), idriche (funzione delle variabili atmosferiche che determinano il bilancio idrico del suolo) e nutrizionali (funzione delle variabili fisiche atmosferiche e del terreno che agiscono sui

cicli dei macro e dei microelementi). Si giunge così ad una sostanza organica finale da ripartire fra foglie, fusti, radici e organi di riserva, applicando quote di ripartizione che sono variabili

Tabella 3. Stima della produzione netta di zucchero per un m² di vigneto in base allo schema presentato in figura 2.

Table 3. Evaluation of the net accumulation of sugar in 1 m² of vineyard on the base of the scheme of figure 2.

- Radiazione globale 30 = MJ m² giorno⁻¹
- Radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) lorda = Rglob*0.40 = 12 MJ
- Percentuale della PAR assorbita dalla canopy = 50%
- PAR netta = PAR lorda * 0.50 = 6 MJ
- Efficienza della luce (RUE) = 2.5 g di zucchero MJ⁻¹
- Assimilazione lorda (GASS) = 6*2.5 = 15 g m² giorno⁻¹
- Perdite di respirazione, conversione e traslocazione=40%
- PNA = 15*(1-0.40) = 9 g m² giorno⁻¹
- Limitazioni: idrica(20%) e termica (10%)
- NPP = 9*(1-(0.1+0.2)) = 6.3 g m² giorno⁻¹
- Percentuale di accumulo nel grappolo = 75%
- Accumulo finale di zuccheri nel grappolo = 6.3*0.75 = 4.7 g m² giorno⁻¹

li in funzione della fase fenologica, a sua volta condizionata dalle variabili guida atmosferiche. Uno schema di computo sviluppato in base all'algoritmo sopra descritto è riportato in tabella 3.

4. Simulazione degli aspetti quali-quantitativi in viticoltura

Il modello descritto nel paragrafo precedente consente ad esempio di descrivere l'accumulo di sostanza secca nel grappolo garantendo un approccio quantitativo ai determinanti quantitativi della produzione viticola.

Nel caso della vite un tale approccio è oggi adottato da vari gruppi di ricerca. In particolare si segnala il modello STELLA sviluppato presso l'Università del Sacro Core di Piacenza (Poni et al., 2006; Spanna et al., 2007).

L'approccio presentato in questa sede si fonda sull'impiego del modello SIM_PP (Mariani e Maugeri, 2002), un modello che presenta un passo giornaliero con loop orario per valutare gli effetti della limitazione termica sui vegetali. Tale approccio, modellistico applica lo schema descritto nel paragrafo precedente adottando un passo giornaliero che scende ad orario nel caso delle stime delle limitazioni termiche. La limitazione idrica viene descritta con l'ausilio di un semplice modulo di bilancio idrico monostrato fondato sul principio di conservazione della massa applicato alla riserva idrica del suolo.

Alcuni risultati derivanti dall'applicazione di un tale modello sono riportati in figura 3.

In particolare si osservi:

- la stima di circa 40 q/ha di sostanza secca ac-

cumulata nei grappoli, corrispondenti a circa 100 q di materia fresca e che rappresentano quasi il 50% della biomassa accumulata nella parte epigea della pianta;

- l'apporto di sintati alle radici (circa 20 q ha⁻¹ utilizzati per la crescita delle radici assorbenti e per le rizodeposizioni (essudati e secreti radicali a basso peso molecolare – zuccheri, acidi organici, aminoacidi e fenoli – ed ad alto peso molecolare – polisaccaridi ed in genere residui di tessuti dispersi per abrasione nel suolo)
- la biomassa accumulata nell'apparato fogliare (considerando 1 mq di foglia per kg di uva e 200 g ss per kg, si giunge alla stima di 20 q di sostanza secca per ettaro, coerenti rispetto alle stime del modello).
- Un trasferimento verso le strutture permanenti epigee pari a circa 13 q ha⁻¹, corrispondenti alla neodeposizione di legno e libro ed all'accumulo delle sostanze di riserva (carboidrati e proteine) necessarie per la ripresa vegetativa dell'anno successivo
- il modello è stato parametrizzato in modo tale che la curva di accumulo di sostanza secca del grappolo manifesti il fenomeno della stasi di crescita legata alla maturazione dei vinaccioli
- l'accumulo successivo alla stasi di crescita del grappolo è legato sia alla rapida crescita in volume degli acini sia all'accumulo di soluti, in particolare zuccheri, nei vacuoli.

In generale da tali risultati di sintesi si può dedurre che un tale approccio è significativamente più vicino ai meccanismi della produzione rispetto al classico approccio basato su indici agroclimatici a base termica quali gli indici di

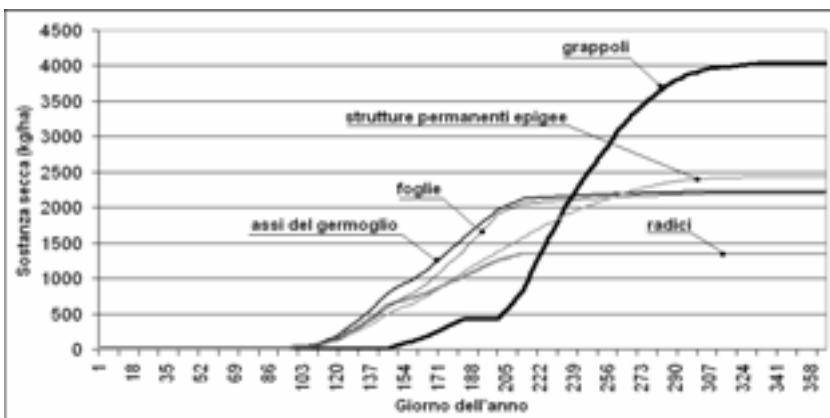


Figura 3. Modello Sim_PP (Mariani e Maugeri, 2002). Esecuzione di test sui dati meteorologici di Padova dell'anno 1986. Principali output produttivi del modello.

Figure 3. Sim_PP model (Mariani and Maugeri, 2002). Test run carried out on Padova meteorological data of 1986. Main production outputs.

Winkler, di Huglin e così via (Mariani, 2002).

Tuttavia è ovvio a tutti che la vite non è mais, per cui se in viticoltura *la quantità* è frutto della fotosintesi e della ripartizione delle sostanze organiche prodotta fra i diversi organi della pianta, *la qualità* è frutto delle decine di biosintesi che hanno luogo soprattutto nelle bacche e che sono regolate da enzimi la cui espressione ed attività rispondono alle diverse variabili atmosferiche (in primis temperatura dell'aria e radiazione solare) ed allo stato idrico, con una "sensibilità" la cui base genetica viene gradualmente posta in luce dalla ricerca più recente e potrà in futuro divenire la base per una nuova generazione di modelli che descrivano tali biosintesi giungendo a fornire una stima degli aspetti qualitativi della produzione, in attesa dei quali anche l'approccio basato su indici empirici mantiene una sua validità.

L'approccio modellistico di tipo empirico o meccanicistico rappresenta un sistema per descrivere in termini quantitativi la vocazione di un territorio alla viticoltura, vocazione la quale si fonda su criteri molto diversi anche su territori geograficamente vicini (Mariani e Failla, 2006).

Nel caso specifico della vite, senza giungere ai casi estremi rappresentati dalla viticoltura dello Champagne da un lato e dell'Egeo dall'altro si può sovente osservare che diversi criteri di vocazionalità emergono sovente in relazione a territori non molto lontani fra loro. Ad esempio l'eccesso idrico estivo appare come un decisivo fattore limitante nel caso della piccola area viticola di Varese mentre la carenza idrica estiva appare fattore limitante nell'Oltrepò Pavese, che dall'area viticola varesina dista solo un centinaio di km.

Alla base della variabilità nei criteri di vocazionalità viticola vi sono una serie di elementi fra cui in particolare spiccano:

- la plasticità genetica che si basa sulla scelta della più idonea combinazione vitigno / portinnesto, e che consente alla coltura di adattarsi a ambienti diversi e di mantenere una costanza produttiva a fronte di pressioni esterne (es: annate climaticamente anomale);
- i sistemi di allevamento (forma di allevamento, densità schemi d'impianto) che sono spesso il risultato di una lunga evoluzione storica;
- le pratiche colturali (potatura, irrigazione,

gestione del suolo – lavorazione, inerbimento controllato, ecc.), anch'esse frutto e oggetto di continua evoluzione storica.

La plasticità della base genetica della vite si è probabilmente formata nella fase di pre-domesticazione, allorché le popolazioni di viti selvatiche si sono confrontate con i caratteri ecologici dei loro areali originari e nella fase di post-domesticazione, anche attraverso il trasporto verso ambienti anche assai diversi da quelli di origine e selezione da parte dell'uomo. Molte delle varietà di vite sono frutto dell'incontro delle piante con l'ambiente europeo, meteorologicamente assai complesso in quanto luogo di miscelazione fra masse d'aria di natura alquanto diversa (artica, polare continentale, polare marittima e subtropicale). Tale miscelazione è resa possibile dall'azione di alcune strutture circolatorie caratteristiche quali l'anticiclone delle Azzorre, il ciclone d'Islanda, le grandi correnti atlantiche, le depressioni isolate del Mediterraneo, le quali interagiscono con gli elementi del rilievo dando luogo a fenomeni topoclimatici quali il foehn, lo stau, il lago freddo, ecc.

Da questo sommario affresco emerge comunque l'estrema originalità del clima europeo, la cui stabilità complessiva è frutto di una grande variabilità interannuale che è segnata da cicli con variazione in localizzazione, frequenza e persistenza dei diversi tipi di strutture circolatorie. In tale contesto il passaggio da una fase climatica ad un'altra avviene attraverso discontinuità circolatorie sensibili, dell'ultima delle quali, quella del 1989, si è già discusso in questa sede (Mariani e Cola, 2006).

5. Guida atmosferica nel canopy layer

La guida atmosferica del sistema che abbiamo testé delineato si manifesta tanto sulla qualità che sulla quantità delle produzioni. Si pensi ad esempio che nel caso della vite la qualità di un mosto è frutto delle biosintesi dei cosiddetti metaboliti secondari quali i polifenoli (tannini, antociani) e gli aromi (terpeni, norisoprenoidi-C13, aldeidi e alcoli C6), che hanno luogo soprattutto nelle bacche e che sono regolate da enzimi la cui espressione ed attività rispondono alle diverse variabili atmosferiche (in primis temperatura dell'aria e radiazione solare) e dello stato idrico, con un "sensibilità" la cui base

genetica viene gradualmente posta in luce dalla ricerca più recente.

Dove (a quale scala) si esplica la guida atmosferica? L'effetto delle variabili atmosferiche sulle colture si esplica a livello di canopy (microscala).

In relazione a ciò non è sufficiente il dato di temperatura dell'aria in capannina (la temperatura dell'aria rappresenta bene la temperatura di una foglia ben rifornita d'acqua ma non quella di una foglia soggetta a stress idrico, di un tronco o di un grappolo dopo l'invasatura). Si osservi inoltre che in meteorologia le scale "parlano" fra loro, per cui chi indaga la microscala non può trascurare i fenomeni di macro e me-

soscala (es: ruolo di meso e macroscale su una grande gelata).

Problema per l'agrometeorologo è pertanto quello di spingere le misure e i modelli fino a mettere a disposizione dell'utente dati riferiti agli organi più direttamente coinvolti nei processi biochimici alla base di quantità/qualità del prodotto.

Questo in estrema sintesi è il problema che abbiamo davanti; la sua soluzione richiede anzitutto che chi si occupa di micrometeorologia spinga le proprie misure e i propri modelli fino a mettere a disposizione dati riferiti agli organi direttamente coinvolti nei processi biochimici alla base della qualità. A tale proposito un esempio è quello relativo alla temperatura del grappolo della vite ed a come sia possibile la descrizione di tale grandezza attraverso un approccio modellistico basato sul bilancio energetico di superficie. In particolare in figura 4 si riporta un esempio dei risultati ottenuti con il modello Berrytone (Mariani et al., 2005).

Analogamente può essere riportato un esempio relativo alla temperatura dell'acqua in risaia e su come questa possa essere descritta con approcci meccanicistici o empirici (Confalonieri et al., 2005).

Tuttavia una volta giunti ad avere dati così specifici ci si trova comunque di fronte al problema della disponibilità di modelli "fisiologici" che consentano di "tradurre" tali informazioni in dati di quantità e qualità del prodotto.

Si evidenzia dunque la necessità di uno stretto legame dell'agrometeorologia con altre discipline biologiche e da questo punto di vista non ci si può certo limitare all'agronomia, alla fisiologia ed alla genetica ma occorrerebbe forse creare una rete più vasta che coinvolga la scienza del suolo, l'entomologia, la microbiologia, la fitopatologia ed in genere le discipline che indagano aspetti dell'agro-ecosistema guidati dalle variabili atmosferiche.

6. Discussione e conclusioni

Nel lavoro si è tentata una sommaria descrizione delle variabili meteorologiche intese come variabili guida per le produzioni. In particolare si sono considerati gli aspetti legati allo spazio (variabilità spaziale), quelli legati al tempo (variabilità temporale), gli aspetti di scala con

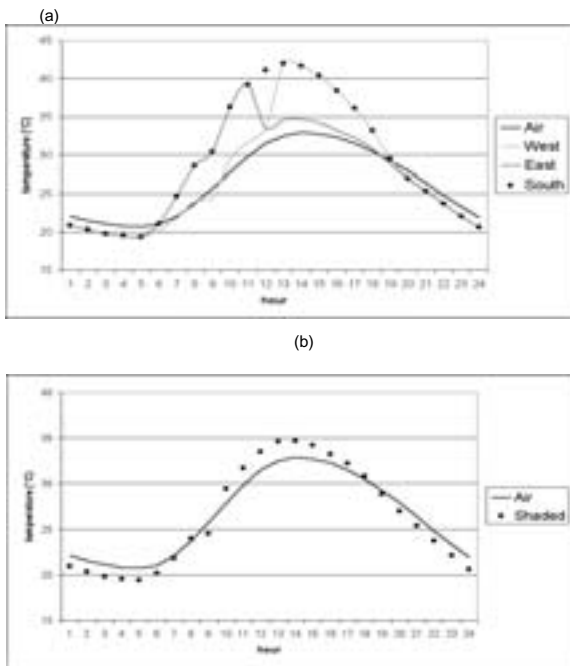


Figura 4. Temperature di grappoli con differente esposizione modellate per il 15 agosto 2003 a Verzuolo (CN). In (a) grappoli al sole con differente esposizione e in (b) grappoli all'interno della canopy. La temperatura dell'aria oraria (linea continua) è stata ricostruita con l'algoritmo di Parton e Logan applicato ai dati di temperatura minima e massima giornaliera rilevati dalla stazione Ucea - Cra (Mariani et al., 2005).

Figure 4. Temperatures of berries with different exposure modeled for 15 August 2003 at Verzuolo (Cn). (a) is for sunny grapes with different exposures, (b) is for grapes inside the canopy. Hourly values of air temperature (continuous line) was obtained with Parton & Logan algorithm applied to minimum and maximum daily temperature gauged by an agrometeorological station of Ucea - Cra network (Mariani et al., 2005).

esempi a macro, meso e microscala ed infine gli aspetti eco-fisiologici.

Su tali temi ci siamo mossi con esempi, evidenziando anche gli spazi di interdisciplinarietà che emergono in tale contesto.

Bibliografia

- Blasi C. 1998. Clima e fitoclima. In Pignatti S. (a cura di): I boschi d'Italia, sinecologia e biodiversità. Utet, Torino. 677 pp.
- Confalonieri R., Mariani L., Bocchi S. 2005. Analysis and modelling of water and near water temperatures in flooded rice (*Oryza sativa* L.), Ecological Modelling, vol. 183, Issues 2-3, 25 April 2005, 269-280.
- van Keulen H., Wolf J. (eds.) 1986. Modelling of agricultural production, weather, soils and crops. Pudoc, Wageningen. 479 pp.
- Larcher W. 1995. Physiological plant ecology. Springer, New York. 506 pp.
- Mariani L., Cola G. 2006. Agrometeorologia ed esigenze idriche delle colture. Italian Journal of Agronomy, 3:587-602.
- Mariani L., Failla O., Cola G. (in stampa). A simulation model for the daily course of grape berry temperature. Proceedings Int. Workshop on Advances in Grapevine and Wine Research, 15-17 September 2005, Venosa (I), Acta Horticulturae.
- Mariani L., Failla O. 2006. Agro-climatic characterisation of European mountain viticultural areas. First International Congress of Mountain and Steep Slope Viticulture, St. Vincent, edizione su CD-Rom, ISBN 88-902330-0-1
- Mariani L., Maugeri M. 2002. Alcune considerazioni di tipo agro-climatico su serie storiche della Sicilia Orientale. Atti di AIAM 2002, Acireale, 84-95.
- Poni S., Palliotti A., Bernizzoni F. 2006. Calibration and evaluation of a STELLA Software-based daily CO₂ balance model in *Vitis vinifera* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 131:273-283.
- Spanna F., Ambrosino C., Sanna M. 2007. Applicazione di un modello di crescita e produttività su vitigno nebbiolo. Atti AIAM 2007, Associazione Italiana di Agrometeorologia, 64-65.