

Tempo termico e fenologia della vite

Gabriele Cola*, Luigi Mariani, Simone Parisi e Osvaldo Failla

Dipartimento di Produzione Vegetale, Università di Milano

Thermal time and grapevine phenology

Abstract. Atmospheric driving variables play a fundamental role in the temporisation of the biological clock which sets plants growth and functions. This paper focuses on the calibration of a model simulating the whole phenological cycle of *Vitis vinifera* L. on the base of a thermal time by means of the aggregation of Normal Heat Hours (NHH). NHH are hours weighted (in the 0-1 range) on the base of a plant activity temperature range (Tcmin and Tcmax) and a plant optimal temperature (Topt). The phenological stages are determined on the base of specific NHH sums thresholds.

Calibration carried out on four cultivars (Chardonnay, Barbera, Croatina e Pinot noir) focusing on the definition of Tcmin, Tcmax and Topt, interestingly leads to common values of Tcmin and Topt (7 and 18 °C) for the four cvs and to a limited range for Tcmax (29-33 °C).

Key words: Phenology, thermal time, biological time, Normal Heat Hours.

Introduzione

I ritmi fenologici delle piante sono governati da un orologio biologico che risulta di difficile lettura a causa dello stretto legame con gli ormoni e più in generale con la fisiologia delle piante. Per tale ragione in luogo del tempo biologico si considera spesso un tempo termico (Larcher, 1995). La principale limitazione legata a tale scelta è rappresentata dal fatto che le piante non sono veri e propri termometri poiché non rispondono in maniera lineare alla temperatura. Le piante infatti mirano a perseguire i propri obiettivi biologici (sviluppo e riproduzione) “nonostante” le temperature. Quel nonostante sta ad indicare una risposta non lineare alla temperatura, per cui la temperatura non peserà allo stesso modo in condizioni diverse.

La maggior parte dei modelli fenologici si basa tutt’oggi sul computo di cumuli di unità termiche (Larcher, 1995) secondo l’approccio standard al

tempo termico adottato fin dall’epoca di Réaumur (XVIII secolo) e cioè quello delle unità termiche in cui viene definito un valore soglia di temperatura (cardinale minimo) oltre il quale le temperature vengono considerate efficaci. Tale metodo trascura però l’esistenza di temperature sovra-ottimali per lo sviluppo. Per ovviare a tale inconveniente sono stati sviluppati dei sistemi di correzione quali lo scarto orizzontale, lo scarto intermedio e lo scarto verticale (Mariani, 2002). In questo lavoro, partendo da un approccio alternativo fondato sulle Ore Normali di Caldo (NHH Normal Heat Hours) che tenta di superare i limiti sopra elencati che caratterizzano le unità termiche, vengono sviluppati 4 modelli di simulazione delle fasi fenologiche della vite specifici per le varietà Chardonnay, Barbera, Croatina e Pinot nero, analizzandone le prestazioni e confrontandole con modelli basati sul classico approccio ad unità termiche.

Materiale e metodi

L’approccio ad Ore Normali di Caldo (NHH) si spinge al dettaglio orario e normalizza le temperature per mezzo della seguente curva di risposta (Wang & Engel, 1998, Weikai & Hunt, 1999) che rappresenta l’efficacia della temperatura per la fenologia delle piante:

$$(1) \text{NHH} = (2 (\text{Th} - \text{Tcmin})^\alpha (\text{Topt} - \text{Tcmin})^\alpha) - (\text{Th} - \text{Tcmin})^{2\alpha} / (\text{Topt} - \text{Tcmin})^{2\alpha}$$

Dove:

- Th = temperatura dell’ora in esame
- $\alpha = \ln (2 \ln((\text{Tcmax} - \text{Tcmin}) / (\text{Topt} - \text{Tcmin})))$
- Tcmin – Temperatura cardinale minima – limite inferiore sotto al quale le temperature non sono efficaci per il processo in esame;
- Topt - Temperatura ottimale per il processo;
- Tcmax - Temperatura cardinale massima – limite superiore oltre al quale le temperature non sono efficaci per il processo in esame.

Viene in tal modo garantita la possibilità di rappresentare l’effetto di temperature sub-ottimali o sovra-ottimali sulla specie e varietà in esame. Temperature al di fuori dei cardinali minimo e massi-

* gabriele.col@unimi.it

mo avranno quindi effetto nullo ($NHH=0$) mentre temperature all'interno di tale range avranno valori compresi fra 0 ed 1 a seconda del loro grado di ottimalità ($0 \leq NHH \leq 1$).

Le osservazioni fenologiche si basano sull'utilizzo di scale definite in sede internazionale; gli anni più recenti hanno visto la crescente diffusione della scala fenologica centesimale BBCH (Meier, 2001), il cui principale vantaggio è dato dalla flessibilità e dalla possibilità di impiego per qualunque specie vegetale. Tale scala presenta dieci fasi principali codificate in modo ordinale fra 0 e 9. BBCH gestisce in parallelo le fasi vegetative e riproduttive il che porta ovviamente a sovrapposizioni temporali. Ai fini di questo lavoro vengono considerate le fasi vegetative codificate con codice primario 0 ed 1 e in seguito le fasi riproduttive comprese fra 5 e 8. Pertanto nello sviluppo del modello si è ricorso all'introduzione di una scala BBCH di comodo (Failla *et al.*, 2008) al fine di linearizzare la scala BBCH evitando la discontinuità che si crea con il passaggio dalla fase vegetativa (stadio principale 1 - Sviluppo delle foglie) a quella riproduttiva (stadio principale 5 - Emergenza dell'infiorescenza).

I dati utilizzati per lo sviluppo del modello fenologico derivano da attività di monitoraggio fenologico svolte in Franciacorta (su Chardonnay: 22 vigneti per un totale di 343 osservazioni condotte nel periodo 2006-2009) dal relativo Consorzio di Tutela e in Oltrepò pavese (nel periodo 2007-2008 su Pinot nero - 27 vigneti per un totale di 214 osservazioni, Barbera - 22 vigneti, 165 osservazioni e Croatina - 24 vigneti e 229 osservazioni) dall'Università di Milano (Unimi). Per ogni cultivar considerata è stato creato un dataset comprendente fase fenologica e data di raggiungimento della fase. Il modello generale prevede il computo giornaliero delle NHH in base alle temperature orarie dell'aria. Ove non direttamente disponibili, le temperature orarie sono state ottenute sulla base delle temperature massima e minima giornaliera per mezzo del modello di Parton e Logan (1981). Le NHH sono state quindi cumulate a partire da una data definita a priori (primo di gennaio). Per ogni data di osservazione si è quindi affiancata alla fase fenologica (espressa secondo la scala BBCH di comodo) il cumulo di NHH. È risultato così possibile porre in relazione cumuli di NHH e osservazioni mediante una regressione lineare applicando un modello del tipo:

$$(2) \quad BBCH_{sim} = A + B * NHH_{cum}$$

Dove:

- $BBCH_{sim}$ = fase fenologica simulata alla data X;
- NHH_{cum} = cumulo delle ore normali di caldo alla data X;
- A, B = parametri della regressione.

Nello specifico caso di questo lavoro, si è stabilito di focalizzare la calibrazione sull'individuazione dei valori di T_{min} , T_{max} e T_{opt} per i quali il modello lineare mostrasse le migliori prestazioni. Si sono quindi stabiliti gli intervalli in cui far variare le tre variabili e nello specifico T_{min} fra 7 e 12 °C, T_{opt} fra 18 e 28 °C e T_{max} fra 25 e 42 °C, generando 996 combinazioni delle tre temperature omettendo le combinazioni che determinassero curve di risposta poco "sensate" come ad esempio quelle generate con differenze fra T_{opt} e T_{max} di un solo °C. Per ogni combinazione di temperature sono quindi state calcolate le NHH ed il conseguente modello lineare. I 996 modelli così ottenuti sono stati quindi confrontati ricorrendo ai seguenti indici statistici prestazionali: efficienza del modello (EF), scarto quadratico medio relativo (RRMSE), errore medio assoluto (MAE) e coefficiente di correlazione r di Pearson. Il criterio finale di scelta si è basato sulla creazione di una graduatoria a ranghi per ognuno degli indici ottenuti al fine di scegliere il modello che nel complesso desse luogo alle migliori prestazioni.

Risultati

La calibrazione per le 4 varietà ha portato alle seguenti triplette T_{min} , T_{opt} , T_{max} : Chardonnay: 7, 18 e 33 °C, Barbera: 7, 18 e 29 °C, Croatina e Pinot nero: 7, 18 e 30 °C. È interessante il fatto che i cardinali minimi e le temperature ottimali presentino valori identici per le quattro varietà e che l'intervallo di variazione del cardinale massimo sia particolarmente ridotto (fra 1 29 ed 1 33 °C). Le specifiche curve di risposta sono rappresentate in figura 1.

Dall'analisi della figura 2, nella quale le diverse combinazioni di temperature sono riportate secondo la graduatoria prestazionale, si può notare che per tutte e quattro le varietà e con particolare riferimento a T_{min} e T_{opt} i valori tendano a convergere gradualmente (con oscillazioni ridotte) verso le triplette scelte.

Al fine di valutare la qualità del modello proposto si quindi proceduto a confrontare le prestazioni dei migliori modelli a NHH con quelle offerte da analoghi modelli lineari basati sulle classiche somme termiche a base 10°C (GDD10) e 7 °C (GDD7), che sono stati pertanto applicati agli stessi dati utilizzati per il modello a NHH.

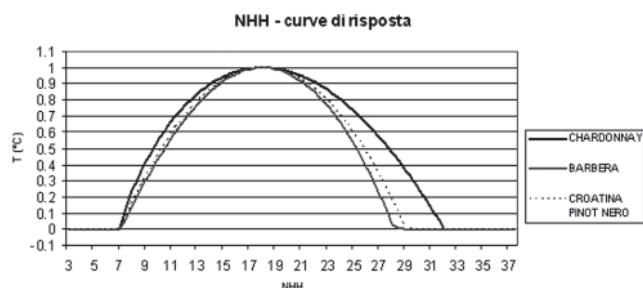


Fig. 1 - La curva di risposta NHH per le quattro varietà indagate. Calcolo delle NHH tramite la funzione beta descritta in Wang e Engel (1998). Un'ora trascorsa alla temperatura ottimale vale 1 NHH, ore passate a temperature inferiori al cardinale minimo o superiori al cardinale massimo hanno peso nullo.

Fig. 1 - NHH Response curve for the four cultivars object of study. NHH calculus by means of the Wang and Engel beta response curve (1998). An hour spent at the optimal temperature is equal to 1 NHH, while an hour at temperature lower than the minimum cardinal temperature or higher than the maximum one is null.

Come si può constatare dai dati riportati in tabella 1, il modello a ore normali di caldo ottiene sempre le migliori prestazioni nel confronto con i due modelli a gradi giorno per tutti gli indici statistici utilizzati. Focalizzandosi sull'errore commesso dai modelli (Tabella 2) si può verificare che il modello NHH conferma la sua superiorità sia in termini di deviazione standard che di errore massimo (rappresentato in termini di giorni di anticipo e ritardo rispetto al reale manifestarsi della fase predetta).

Discussione e conclusioni

I modelli fenologici a NHH calibrati per le quattro varietà in esame hanno fornito sul dataset di calibrazione risultati che per tutte le varietà considerate si sono rivelati superiori a quelli dati da modelli unità termiche (sia a base 10 che a base 7). Una critica che

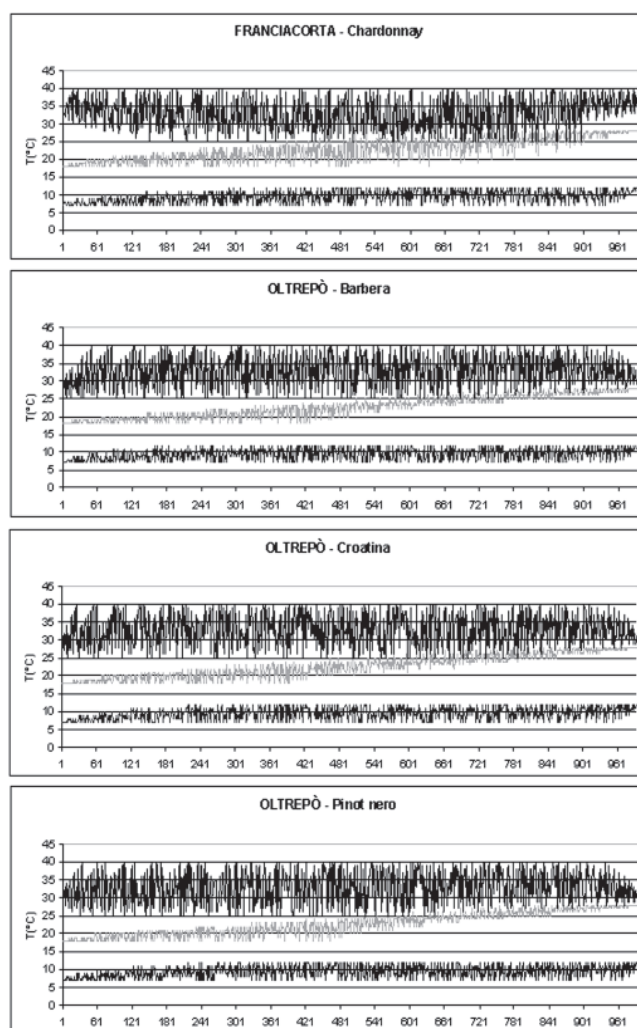


Fig. 2 - Graduatoria delle possibili combinazioni di Tmin, Topt e Tmax negli intervalli di variazione prescelti (7-12, 18-28, 25-42 °C) per le 4 varietà considerate nei rispettivi ambienti.

Fig. 2 - Ranking of the Tmin, Topt e Tmax possible combinations ranging in the defined rangese (7-12, 18-28, 25-42 °C) for the four dataset (site and cultivar).

Tab. 1 - Analisi statistica delle prestazioni del modello a NHH e confronto con due modelli a unità termiche, GDD10 (sommatoria termica a base 10 °C) e GDD7 (sommatoria termica a base 7 °C). Il modello a NHH ottiene costantemente risultati migliori.

Tab. 1 - Statistical analysis od NHH model performances compared with to model based on daily thermal units, GDD10 (Growth Degree Days with a 10 °C base) and GDD7 (Growth Degree Days with a 7 °C base) The NHH models constantly outperforms the other two.

Varietà	MODELLO	EF	MAE	RRMSE	R
Chardonnay	NHH	0,95	2,51	9,84	0,95
	GDD10	0,90	3,62	14,28	0,90
	GDD7	0,92	3,36	13,17	0,91
Pinot nero	NHH	0,96	2,17	11,65	0,95
	GDD10	0,84	4,62	22,84	0,83
	GDD7	0,88	3,92	18,26	0,87
Croatina	NHH	0,96	2,41	10,98	0,95
	GDD10	0,86	4,43	19,79	0,85
	GDD7	0,89	3,96	17,63	0,88
Barbera	NHH	0,96	2,32	10,85	0,95
	GDD10	0,85	4,40	20,57	0,84
	GDD7	0,88	3,92	18,26	0,87

Tab. 2 - Valutazione degli errori commessi dal modello a NHH e confronto con due modelli a unità termiche, GDD10 (sommatoria termica a base 10 °C) e GDD7 (sommatoria termica a base 7 °C) mediante deviazione standard e massimo errore in anticipo e posticipo (espresso in giorni).

Tab. 2 - Error evaluation – Comparison among the NHH models and GDD10 and GDD7 by means of standard deviation and maximum advance and delay (expressed in number of days).

	Chardonnay				Croatina		
	deviazione standard	massimo anticipo	massimo ritardo		deviazione standard	massimo anticipo	massimo ritardo
NHH	2,99	6,86	6,41	NHH	2,98	7,70	7,95
GDD10	4,34	10,24	-11,27	GDD10	5,37	11,29	10,28
GDD7	4,00	9,24	-10,28	GDD7	4,79	10,42	10,05
	Barbera				Pinot nero		
	deviazione standard	massimo anticipo	massimo ritardo		deviazione standard	massimo anticipo	massimo ritardo
NHH	2,96	7,51	8,14	NHH	2,79	7,10	7,70
GDD10	5,62	12,85	11,66	GDD10	5,48	10,65	11,89
GDD7	4,99	12,07	11,12	GDD7	4,75	9,67	11,13

può essere mossa all'approccio adottato è data dall'utilizzo delle stesse temperature per la descrizione dell'intero ciclo di crescita, trascurando quindi le peculiarità che caratterizzano (anche dal punto di vista termico) le diverse fasi di vita della pianta. Per tale motivo i prossimi sviluppi del modello prevedono di sviluppare un sistema a cascata composto da una serie di modelli a base NHH specifici per i passaggi da una fase fenologica a quella successiva (considerando quindi le fasi di maggiore interesse).

Riassunto

Le variabili guida atmosferiche rivestono un ruolo primario nella temporizzazione dell'orologio biologico che regola la crescita e le funzioni vitali delle piante. In questo lavoro è stato calibrato un modello che simula l'intero ciclo fenologico di *Vitis vinifera* L. su base termica. In particolare il modello si fonda sulla temperatura oraria dell'aria attraverso il computo delle Ore Normali di Caldo e sulla relazione lineare fra i cumuli di queste ed i diversi stadi fenologici.

La calibrazione è stata effettuata in modo distinto per quattro varietà (Chardonnay, Barbera, Croatina e Pinot nero) portando alla determinazione di specifiche temperature cardinali (minima e massima) ed ottimali che determinano le Ore Normali di Caldo.

Particolarmente interessante si rivela la coincidenza per tutte e quattro le varietà sia del cardinale minimo (7 °C) che del cardinale ottimale (18 °C) ed il ridotto intervallo di variazione del cardinale massimo (29-33 °C).

Parole chiave: Fenologia, tempo termico, Tempo biologico, Ore normali di Caldo.

Bibliografia

- FAILLA O., MARIANI L., DAL MONTE G., FACCHINETTI D., 2008. *Real Time Production Of Phenological Maps For Italy. The Experience Of The Iphen Network*, Proceedings of the European Society of Agronomy Congress, Bologna.
- MEIER U., 2001. *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants* - BBCH Monograph, Second Edition, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- LARCHER W., 1995. *Physiological plant ecology*, Springer, 506 pp.
- MARIANI L., 2002. *Agrometeorologia*, Clesav, 292 pp.
- PARTON W. J., LOGAN J. A., 1981. *A model for diurnal variation in soil and air temperature*, Meteorol., 23, 205-216.
- WANG E., ENGEL T., 1998. *Simulation of phenological development of weath crops*, Agricultural systems, vol 58, n.1, 1-24.
- WEIKAI Y., HUNT L. A., 1999. *An Equation for Modelling the Temperature Response of Plants using only the Cardinal Temperatures*. Annals of Botany 84, 607-614.