

## Il cambiamento climatico: osservazioni, proiezioni e conseguenze sulla viti-vinicoltura<sup>1</sup>

Gregory V. Jones

*Department of Geography, Southern Oregon University (USA)*

### **Climate change: observations, projections, and general implications for viticulture and wine production**

**Abstract.** Climate change has the potential to greatly impact nearly every form of agriculture. However, history has shown that the narrow climatic zones for growing winegrapes are especially prone to variations in climate and long-term climate change. While the observed warming over the last fifty years appears to have mostly benefited the quality of wine grown worldwide, projections of future warming at the global, continent, and wine region scale will likely have both a beneficial and detrimental impacts through opening new areas to viticulture and increasing viability, or severely challenging the ability to adequately grow grapes and produce quality wine. Overall, the projected rate and magnitude of future climate change will likely bring about numerous potential impacts for the wine industry, including – added pressure on increasingly scarce water supplies, additional changes in grapevine phenological timing, further disruption or alterations of balanced composition and flavor in grapes and wine, regionally-specific changes in varieties grown, necessary shifts in regional wine styles, and spatial changes in viable grape growing regions.

**Key words:** climate change, viticulture, grapes, wine.

---

### **Cambiamento climatico, vite e vino**

La vite è una specie arborea coltivata da tempi antichissimi e, insieme con l'arte della vinificazione, porta con sé una tradizione "colturale" e "culturale" assai ricca (Johnson, 1985; Penning-Roswell, 1989; Unwin, 1991). Attualmente, le regioni viticole più rinomate sono collocate in fasce o nicchie geografiche piuttosto ristrette che le rendono automaticamente più sensibili agli effetti del clima rispetto a quanto normalmente avviene per altre colture di natura più

estensiva. In generale, lo stile di un vino di una determinata regione è funzione del clima di "base", mentre la "variabilità" annuale di questo clima di "base" condiziona le differenti "vendemmie". Pertanto, i cambiamenti di clima, che notoriamente alterano sia la media sia la variazione intorno alla media del parametro considerato, hanno l'indiscutibile potenzialità di far mutare lo stile, la personalità, l'importanza di un vino.

La nostra comprensione degli effetti del cambiamento climatico e del suo potenziale impatto sulla coltura della vite e sulla qualità dei vini si è imposta come fattore prioritario quando, soprattutto a causa del progressivo arricchimento di CO<sub>2</sub> dell'atmosfera e della modifica di alcune sue caratteristiche, si sono avuti effetti significativi sul bilancio annuale di radiazione che giunge a livello del suolo, sulla circolazione delle correnti e sul ciclo idrologico. I trend climatici monitorati nel corso dell'ultimo secolo rivelano che il riscaldamento terrestre è asimmetrico rispetto agli andamenti stagionali e diurni "attesi" in quanto l'incremento di temperatura è stato maggiore in inverno e primavera e durante la notte (Karl *et al.*, 1993; Easterling *et al.* 2000). Tali andamenti sono stati poi efficacemente correlati con la produzione agricola mediante effetti che interessano la resistenza al freddo invernale, la probabilità di gelate tardive e la lunghezza del ciclo vegeto-produttivo (Carter *et al.*, 1991; Menzel e Fabian, 1999; Easterling *et al.*, 2000; Nemani *et al.*, 2001; Moonen *et al.*, 2002; Jones, 2005c).

Diversi indici "termici" sono disponibili al fine di valutare le esigenze di maturazione della vite rispetto ad un dato clima (es. "sommatoria di temperature attive", "temperatura media del mese dell'anno più caldo", "temperatura media della stagione di crescita", intesa come periodo aprile-ottobre) (Gladstones, 1992). Ad esempio, quest'ultima tipicamente sancisce il potenziale di maturazione per uve destinate alla produzione di vini di alta gamma distinguendo zone fresche, intermedie, temperate e calde (Jones, 2006) (fig. 1). Dalla figura 1 si evince che il Cabernet Sauvignon è coltivato in regioni che variano da climi "intermedi" a climi "caldi" con temperature medie stagionali comprese tra circa 16,5-19,5 °C (Bordeaux o Napa Valley). Nel caso del Pinot Nero, la zona di

---

<sup>1</sup> Lavoro originariamente presentato al Congresso su Clima e Viticoltura sponsorizzato dall'Organizzazione Mondiale della Vite e del Vino (OIV) e tenutosi in Saragozza, Spagna, nei giorni 10-14 aprile 2007. Il testo è apparso sugli atti del medesimo Congresso.

## Grapevine Climate/Maturity Groupings

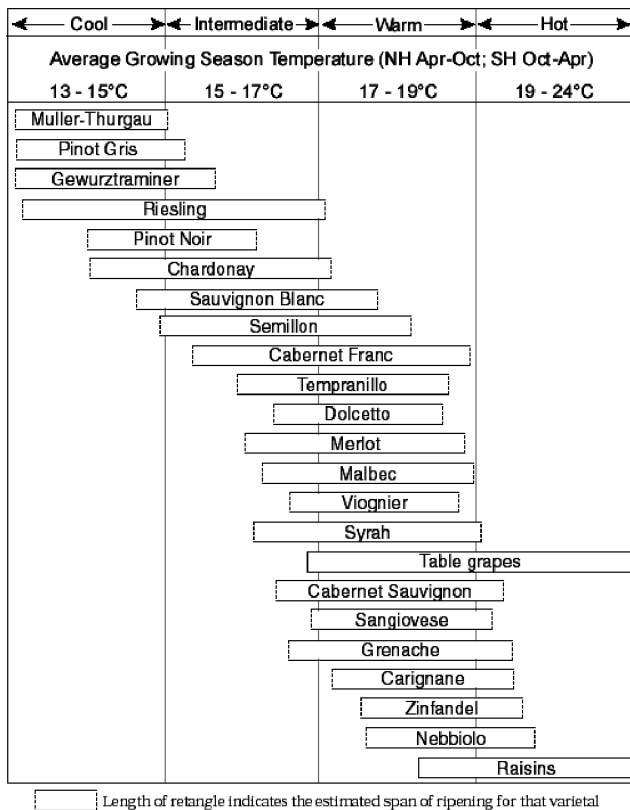


Fig. 1 - Le classi di maturazione proposte in questo diagramma sono basate sulla relazione che intercorre tra fasi fenologiche e clima e che identificano, per ciascun vitigno, l'ampiezza delle condizioni climatiche compatibili con il raggiungimento di elevati o eccellenti standard qualitativi. La linea tratteggiata al termine della barra indica che alcuni aggiustamenti sono possibili in rapporto alla progressiva disponibilità di nuovi dati anche se oscillazioni maggiori di +/- 0,2-0,6 °C sono altamente improbabili. Schema dedotto da Jones, 2006.

Fig. 1 - The climate-maturity groupings given in this figure are based on relationships between phenological requirements and climate for high to premium quality wine production in the world's benchmark regions for each variety. The dashed line at the end of the bars indicates that some adjustments may occur as more data become available, but changes of more than +/- 0.2-0.6°C are highly unlikely. The figure and the research behind it are a work in progress (Jones, 2006).

coltura spazia da climi freschi a intermedi con temperature medie stagionali variabili da 14,0 a 16,0 °C (Oregon del Nord o Borgogna). È pertanto evidente che l'impatto del cambiamento climatico sulla distribuzione geografica dei vitigni non è in alcun modo generalizzabile e varia fortemente in funzione della "fascia" climatica alla quale un genotipo è già assegnato. È altresì evidente che un riscaldamento progressivo ed inesorabile finirà fatalmente, prima o poi, per "spingere" una regione viticola oltre il limite termico massimo entro il quale è ancora possibile, con le varietà attuali, produrre vini di elevata qualità. Sempre in sede di esempio, se una determinata regio-

ne viticola si caratterizza per una temperatura media stagionale di 15 °C, un riscaldamento pari a 1 °C, farà sì che quella regione aumenti la propria vocazionalità per alcuni vitigni e la diminuisca per altri. Se l'entità del riscaldamento raggiunge o supera i 2 °C, allora una regione viticola può anche "slittare" nella fascia climatica sovrastante (ad esempio da intermedia a calda). In linea generale, il riscaldamento determina un aumento del numero totale di vitigni che possono raggiungere la piena maturazione all'interno di una determinata regione, però, è altrettanto evidente che, se una regione viticola è già classificata come "calda" e subisce un ulteriore rialzo termico, la stessa con ogni probabilità finirà per eccedere i limiti oltre i quali la coltura della vite diventa "conveniente" o, nei casi peggiori, addirittura "possibile".

Un ulteriore elemento che emerge dall'osservazione e dalla modellizzazione dei dati climatici è che il cambio di clima si manifesta non solo in termini di variazioni di dati "medi" bensì anche, e in talune occasioni, soprattutto, di variabilità intorno alla media. Ciò spiega perché, in molti casi, si assiste ad un aumento della frequenza di periodi abnormemente "caldi" che, tuttavia, di sovente, è associata al verificarsi di minime termiche invernali particolarmente severe.

Nel complesso, gli effetti di uno slittamento di una regione viticola verso una fascia termica più alta si possono manifestare attraverso una crescita vegetativa più rapida e la tendenza a sviluppare profili aromatici sbilanciati. Ad esempio, se una determinata area raggiunge, nel periodo compreso tra invaiatura e maturazione, un accumulo di zuccheri ideale per l'obiettivo enologico, mantiene la struttura acidica e consegue il profilo aromatico tipico del genotipo, è altamente probabile che quelle uve potranno tradursi in vini "bilanciati". In un clima più "caldo" di quello appena descritto (evidentemente "ideale") le fasi fenologiche della vite risulteranno anticipate e, in particolare, si potrà assistere ad un accumulo zuccherino molto più rapido e/o intenso. Inoltre, mentre il viticoltore attende la comparsa degli aromi "tipici", le alte temperature (anche notturne) causeranno una assai deleteria perdita di acidità che, nei limiti del possibile, richiederà interventi enologici correttivi. Peraltro, il progressivo incremento del tenore alcolico dei vini in diverse zone viticole è un dato di fatto; Duchêne e Schneider (2005) hanno riportato che il grado alcolico potenziale di uve di Riesling coltivate in Alsazia è aumentato del 2,5% (in volume) nel corso dell'ultimo trentennio e che tale tendenza è significativamente correlata a temperature più elevate nel corso della maturazione nonché a cicli fenologici anticipati.

Godden e Gishen (2005), pur non attribuendo alcun ruolo causale alle sommatorie termiche decisamente più elevate osservate negli ultimi anni (McInnes *et al.*, 2003; Webb *et al.*, 2005), riportano, per il periodo 1984-2004, un incremento del tenore alcolico nei vini australiani dal 12,3% al 13,9% per i rossi e dal 12,2% al 13,2% per i bianchi. In Napa Valley (California), il tasso alcolico medio dei vini è cresciuto dal 12,5% al 14,8% nel periodo 1971-2001 mentre il tenore acidico è calato ed il pH aumentato (Vierra, 2004). Mentre Vierra (2004) sostiene che questo trend è prevalentemente legato all'evoluzione del gusto che privilegia prodotti più corposi, caldeggiati anche dai "critici" del vino e dai sistemi di classificazione del valore economico delle "annate", Jones (2005d) e Jones *et al.* (2007c) supportano invece l'ipotesi secondo la quale il clima sarebbe responsabile di non meno del 50% della quota di variazione osservata.

Accanto ai cambiamenti di stile del vino, uno degli aspetti più preoccupanti legati al più alto contenuto alcolico dei vini è che gli stessi risponderanno in modo diverso (spesso non positivo) alle esigenze di invecchiamento. Infine, occorre osservare che vendemmie anticipate alla tarda estate (ad esempio agosto invece di settembre nell'emisfero nord) si tradurranno in uve più "calde" e a maggior rischio di disidratazione in assenza di adeguato rifornimento idrico.

### Ossevazioni storiche sui climi vocati per la viticoltura

Gli storici dimostrano in modo inequivocabile che la vocazionalità di una regione alla coltura della vite è assai sensibile al clima (Le Roy Ladurie, 1971; Pfister, 1988; Gladstones, 1992). In Europa i dati più vecchi di epoca di vendemmia e di rese produttive risalgono a circa un millennio fa (Penning-Roswell, 1989; Le Roy Ladurie, 1971), svelando cicli con temperature stagionali più o meno favorevoli alla crescita, alla produttività e al conseguimento di vini di pregio. Altre fonti suggeriscono che, durante il periodo noto come "Optimum climatico medioevale" (circa 900 - 1.300 D.C.) esistevano vigneti nella fascia costiera prospiciente il Mar Baltico e nella parte meridionale dell'Inghilterra in cui, in quell'epoca, le temperature erano di circa 1 °C più elevate di quelle odierne (Gladstones, 1992). Nel Medioevo (XII - XIII secolo), la vendemmia avveniva mediamente con un mese di anticipo rispetto ad oggi e si stima che la temperatura dell'aria fosse di almeno 1,7 °C più elevata (Pfister, 1988; Gladstones, 1992). Tuttavia, nel corso del XIV secolo, la temperatura dell'aria iniziò a diminuire drasticamente segnando una fase denominata "Little Ice Age", poi prolungatasi fino alla seconda metà del XIX

secolo, che determinò la morte di quasi tutti i vigneti del nord Europa e forti difficoltà di maturazione anche per altre aree europee più meridionali. Inoltre, uno studio di climatologia condotto per la regione della Borgogna (Francia) in grado di ricostruire le temperature primaverili-estive dal 1370 al 2003 ha dimostrato che, a partire dal 1370, il verificarsi di temperature massime simili a quelle raggiunte nella decade particolarmente calda degli anni 90' è stato piuttosto frequente. Tuttavia, la medesima indagine segnala come le temperature registrate nel 2003 siano state, in assoluto, le più alte di tutto il periodo considerato (Chuine *et al.*, 2004).

Uno studio più recente condotto da Jones *et al.* (2005a), inerente gli andamenti stagionali di temperatura in 27 zone viticole sparse in tutto il mondo e comprendenti anche quelle ritenute più "vocate", ha accertato un incremento di 1,3 °C nel corso degli ultimi 50 anni. Tuttavia, la dinamica di riscaldamento è stata più accentuata in Europa e stati occidentali degli USA e meno marcata in Cile, Sud-Africa e Australia.

In assoluto, il riscaldamento più evidente (oltre 2,5 °C) si è registrato in Spagna, sud della Francia e in alcuni settori degli stati di Washington e California (USA). La figura 2 mostra esempi relativi a Borgogna (Beaujolais), Valle del Reno, Barolo, Bordeaux dai quali si apprezza, per il periodo 1950-1999, un incremento termico variabile da 0,7 a 1,8 °C. Il medesimo studio segnala, inoltre, che i punteggi attribuiti alle varie annate (Sotheby's and the Wine Enthusiast: Stevenson, 2002; Mazur, 2002) hanno fatto segnare un incremento della qualità evidenziando anche un progressivo decremento della variabilità tra annate. Peraltro, tali tendenze non sempre sono state lineari mostrando diversificazioni nell'ambito delle singole regioni. Più in dettaglio, pur in rapporto alla specificità di ogni zona e tipologia di prodotto, l'effetto marginale legato all'incremento di temperatura suggerisce che un annata più calda di 1 °C consegue, in sede di punteggio attribuito ai vini, un incremento pari a 10-22 unità (Jones *et al.*, 2005a). La stessa ricerca, tuttavia, rimarca che, oltre al fattore climatico, anche la tecnica e la tradizione enologica rappresentano fattori significativi nell'attribuzione del punteggio.

Analisi climatiche condotte su scala geografica più ridotta o su intervalli di tempo diversi, confermano in generale le precedenti indicazioni (Jones e Davis, 2000; Jones *et al.*, 2005b; 2005c). Nell'arco degli ultimi 30-70 anni, molte importanti regioni viticole mondiali hanno fatto registrare un posticipo e un calo della frequenza di gelate tardive nonché un generale incremento della quantità di calore accumulato nel corso della stagione vegetativa.

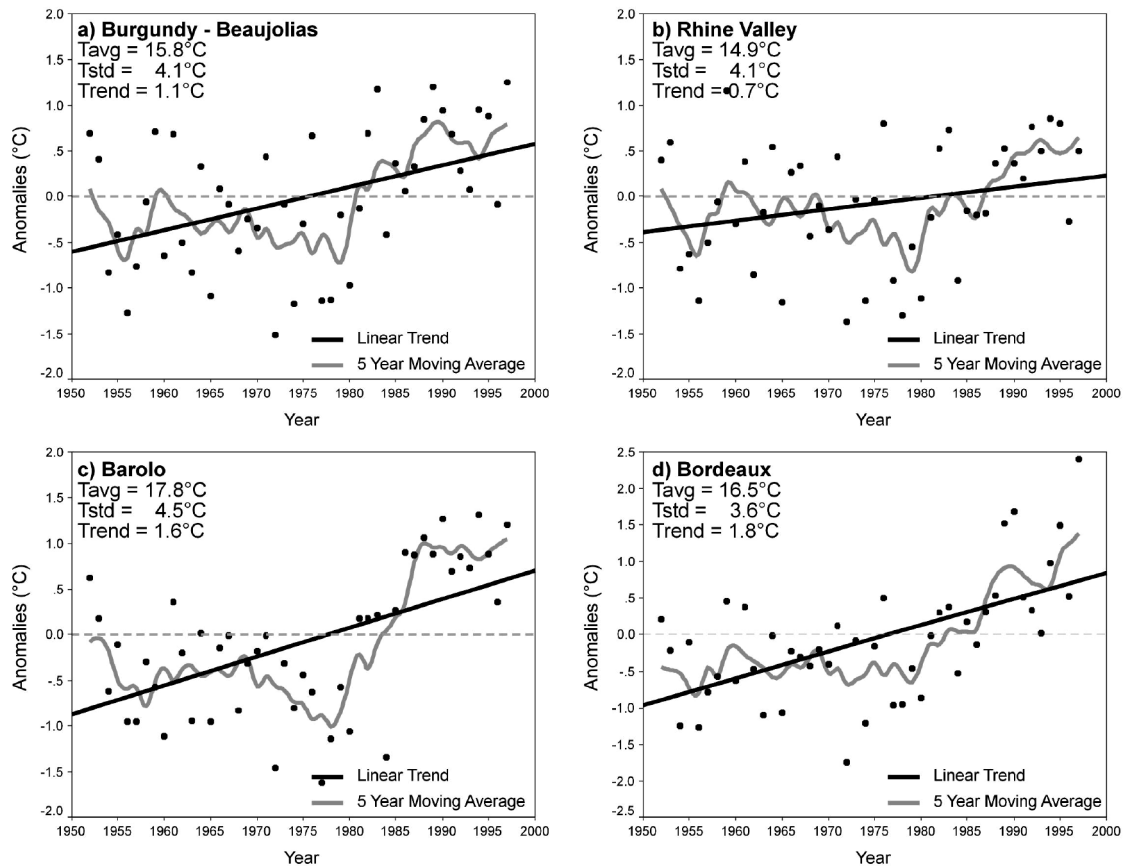


Fig. 2 - Variabilità di temperature stagionali per a) Borgogna, b) Valle del Reno, c) Barolo e d) Bordeaux secondo Jones *et al.* (2005a). I valori sono medie mensili relative ad una maglia di misura di  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  centrata sulle diverse regioni viticole per il periodo 1950-1999. Tavg è la temperatura media stagionale (aprile-ottobre nell'emisfero Nord, ottobre-aprile nell'emisfero Sud), Tstd è la deviazione standard delle temperature mensili nel corso della stagione mentre la linea retta costituisce il trend per il cinquantennio.

Fig. 2 - Observed growing season average temperature anomalies for a) the Beaujolais region of Burgundy, b) the Rhine Valley, c) Barolo, and d) Bordeaux as analyzed by Jones *et al.*, (2005a). The temperature data are monthly values extracted from a  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  grid centered over the wine producing regions for 1950-1999. Tavg is the average growing season temperature (Apr-Oct in the Northern Hemisphere and Oct-Apr in the Southern Hemisphere), Tstd is the standard deviation of monthly temperatures during the growing season, and the Trend is over the 50-year period.

In Nord America, nel lasso di tempo compreso tra 1948-2002, nei distretti di California, Oregon e Washington, la temperatura media stagionale è aumentata di  $0,9^\circ\text{C}$  sulla base di adattamenti che hanno riguardato le temperature minime, un maggiore accumulo di calore, brinate primaverili meno frequenti, brinate autunnali più tardive, periodi dell'anno privi di brinate più lunghi (Jones, 2005c). Le variazioni climatiche registrate in Napa Valley dal 1930 (Jones *et al.*, 2007c) mostrano che l'accumulo di calore è superiore ai 350 gradi giorno ed è funzione primaria di significativi incrementi del riscaldamento notturno. Infatti, le temperature minime registrate di notte sono aumentate di circa  $3^\circ\text{C}$  mentre quelle diurne non hanno mostrato modifiche sostanziali.

Entità e distribuzione delle piogge sono assai variabili negli stati occidentali degli USA poichè legate più direttamente ad eventi meteorologici di vasta scala come "El Niño" o il "Pacific Decadal

Oscillation" (Jones *et al.*, 2007c). Uno studio approfondito condotto per Napa e Sonoma (California) ha accertato che rese e qualità dell'uva più elevate degli ultimi 50 anni sono state influenzate dal riscaldamento asimmetrico (maggiore di notte e in primavera) mentre, sotto il profilo colturale, hanno svolto un ruolo importante la riduzione degli eventi di gelo primaverile, l'anticipo del ciclo vegetativo e la maggiore lunghezza della stagione di crescita e di maturazione (Nemani *et al.*, 2001). Inoltre, analisi recenti relative agli episodi gelo invernale estremo per due importanti regioni viticole del nord America (Washington orientale e penisola del Niagara, Canada) mostrano che sebbene si sia registrata una certa tendenza all'innalzamento nella fascia delle basse temperature (numero di giorni con temperatura sotto lo zero), i picchi di bassa temperatura (sotto i  $-5^\circ\text{C}$ ), non hanno evidenziato significative variazioni di frequenza negli ultimi 75 anni (Jones, 2007b). Inoltre,



sulla base dei peraltro scarsi dati reperibili, osservazioni fenologiche indicano anticipi di 2-5 gg per decade nel corso degli ultimi 25-35 anni in rapporto a vitigno e regione (Wolfe *et al.*, 2005; Jones, 2007b) con forti correlazioni con primavera ed estati più calde.

Indagini recenti riguardanti l'Europa hanno evidenziato risultati simili a quelli riportati per il nord America (Jones *et al.*, 2005b). Un'analisi condotta per gli ultimi 30-50 anni su clima e fenologia di 11 località che spaziano da climi freschi a caldi e per 16 vitigni, segnala che il riscaldamento è presente in gran parte della annate ma è più accentuato in primavera ed estate. Nelle 11 località monitorate, il riscaldamento nel corso della stagione vegetativa è aumentato in media di 1,7 °C con preponderanza per un contributo termico notturno. L'incremento in quantità di calore accumulato è stato quantificato in + 250-300 gradi giorno mentre la quantità e la distribuzione delle piogge non è invece variata in modo significativo. Per la Spagna, nello specifico, Jones *et al.* (2005b) riportano riscaldamenti variabili da 0,8 a 1,2 °C per le regioni di Galizia e Valladolid con un contributo più significativo per le temperature notturne (valori minimi in crescita di 1,1 - 2,1 °C). L'accumulo di calore, espresso sia come indice di Huglin sia di Winkler, è aumentato significativamente nelle zone interne ma non nella zona costiera della Galizia. Inoltre, in Europa, la fenologia ha mostrato una forte correlazione col clima con anticipi di fasi fenologiche variabili tra 6-25 giorni per una serie di località e di vitigni (Jones *et al.*, 2005b). Le variazioni sono più ampie per le fasi di invaiatura e maturazione che, tipicamente, integrano meglio di altre un effetto termico stagionale. Inoltre, la durata in giorni delle sotto-fasi germogliamento-fioritura, germogliamento-invaiatura e germogliamento-maturazione è diminuita di 14, 15 e 17 giorni, nell'ordine. Una volta mediata su tutte le località e le annate, la fenologia della vite mostra, per gli ultimi 30-50 anni, una sensibilità di circa 3-6 giorni per ogni grado di incremento termico.

### Proiezioni climatiche per le regioni del vino

Le previsioni sui cambiamenti del clima si basano su modelli costituiti da complesse rappresentazioni matematiche, tri-dimensionali, del nostro sistema Terra / Atmosfera che integrano dinamiche spaziali e temporali delle leggi di scambio di energia, massa, umidità e flusso tra l'atmosfera e la crosta terrestre. Inoltre, i modelli climatici considerano anche gli scenari proposti dalla Conferenza Inter-Governativa sul Cambio Climatico (IPCC, 2001) che hanno lo scopo di simulare le future emissioni di CO<sub>2</sub> nell'aria dovute all'attività dell'uomo.

I numerosi modelli usati oggi, anche considerando il fatto che i sistemi da modellizzare non sono lineari e che ciascun modello può riferirsi a scenari diversi di previsione del tasso atmosferico di CO<sub>2</sub>, risultano spesso in ipotesi di surriscaldamento e di cambiamento dei patterns di piovosità non certamente univoche (IPCC, 2001). Tuttavia, le proiezioni che i modelli restituiscono sulla base di quanto osservato nell'ultimo trentennio sono tutte concordi nel prevedere che il riscaldamento delle più importanti regioni viti-vinicole continuerà. Una delle prime analisi prodotte con un approccio modellistico aveva previsto (Lough *et al.*, 1983), come poi si è rivelato essere, un prolungamento della stagione favorevole alla crescita della vite in Europa nonché un incremento della qualità dei vini prodotti in Champagne e Bordeaux. Inoltre, indagini modellistiche di tipo spaziale hanno chiaramente indicato traslazioni e/o ampliamenti di regioni viticole prevedendo, per alcune aree del sud Europa, un riscaldamento tale da rendere in pratica impossibile la produzione di vini di alta gamma e, viceversa, per regioni nordiche, la possibilità di diventare ospitali nei confronti di vitigni non necessariamente precoci nonché di garantire una maggiore stabilità climatica (Kenny e Harrison, 1992; Butterfield *et al.*, 2000).

Analizzando alcuni vitigni specifici (Sangiovese e Cabernet Sauvignon), Bindi *et al.* (1996) hanno prospettato che il cambiamento climatico previsto per l'Italia possa portare ad una riduzione dell'intervallo temporale tra fasi fenologiche e, al tempo stesso, ad un incremento della variabilità nella resa in uva. Altri studi indicano che le variazioni previste nella distribuzione geografica dei vitigni sono legate a cambiamenti in temperatura e piovosità, maggiore incidenza di certe malattie innescata da inverni più miti, variazioni del livello del mare potenzialmente tali da mutare l'effetto che la vicinanza alla costa esercita su determinate zone viticole e, infine, l'influenza che l'innalzamento della concentrazione di CO<sub>2</sub> esercita sulla qualità delle uve e sulla tessitura delle essenze legnose utilizzate per la produzione di barriques (Tate, 2001; Renner, 1989; Schultz, 2000; McInnes *et al.*, 2003).

A livello di macroscale, per un giudizio di vocazionalità di aree destinate alla viticoltura, ci si è spesso tradizionalmente basati sull'assunto secondo il quale la vite si colloca tra le isoterme annuali di 10-20 °C (de Blij, 1983; Johnson, 1985) o tra le isoterme stagionali (aprile-ottobre per l'emisfero Nord, ottobre-aprile per l'emisfero Sud) comprese tra 12-22 °C (Gladstones, 2005; Jones, 2006). Peraltro, secondo Jones (2007a) questo ultimo criterio rappresenta più fedelmente i rapporti clima-fenologia della vite e lo

stesso autore le ha ricalcolate o simulate a partire dal Community Climate System Model (CCSM), per una griglia di risoluzione pari a 1,4x1,4 gradi latitudine/longitudine. In particolare, i calcoli sono stati riferiti agli anni 1999, 2049 e 2099 sulla base di tre diversi possibili scenari di emissione atmosferica di CO<sub>2</sub> ipotizzata moderata (B1), media (A1B) ed elevata (A2).

Le variazioni rispetto al 1999 (periodo di riferimento) mostrano sia un cambiamento dell'ampiezza delle aree in cui si ritiene possibile coltivare la vite sia uno slittamento delle stesse verso i poli (fig. 3). Da qui al 2049, si prevede che le isoterme relative comprese tra 12 e 22 °C slitteranno di circa 150-300 km verso i poli in entrambi gli emisferi in funzione del previsto aumento di concentrazione di CO<sub>2</sub> atmosferica (la figura 3 ipotizza lo scenario A1B). Entro il 2099, si prevede un ulteriore slittamento delle stesse isoterme verso i poli di circa 125-250 km. Le traslazioni sono leggermente più ampie verso questi ultimi che non verso l'equatore in entrambi gli emisferi. Tuttavia, la quota relativa di superficie che "cade" all'interno delle due isoterme delimitanti le zone

vocate per la vite aumenta per l'emisfero nord e si riduce per quello sud in rapporto alle ovvie differenze nelle "masse" di suolo sottese.

Sfruttando i dati di output restituiti dal modello dell'Hadley Centre (HadCM3) e imponendo uno scenario di emissione A2, Pope *et al.* (2000) e Jones *et al.* (2005a) hanno confrontato, per 27 tra le regioni viticole più importanti al mondo, l'andamento climatico "medio" dei periodi 1950-1999 e 2000-2049. I risultati suggeriscono che la temperatura media durante la stagione di crescita (aprile-ottobre) aumenterà di circa 1,3 °C e che, nelle regioni di Borgogna (Beaujolais), Valle del Reno, Barolo, e Bordeaux, l'aumento sarà compreso tra 0,9 e 1,4 °C (fig. 4). Inoltre, la proiezione suggerisce che il riscaldamento dell'emisfero Nord (1,3 °C) sarà maggiore di quello previsto per l'emisfero Sud.

Un'analisi del tasso di incremento termico riferita al periodo 2000-2049 segnala valori significativi per ciascuna regione con valori variabili tra 0,2 °C e 0,6 °C per decade. Il tasso medio di incremento sull'intero periodo 2000-2049 oscilla intorno ai 2 °C con un valore minimo per il Sud Africa (0,9 °C / 50 anni) e uno

### Growing Season Average Temperature Isotherms (12-22°C) Northern Hemisphere (Apr-Oct); Southern Hemisphere (Oct-Apr)

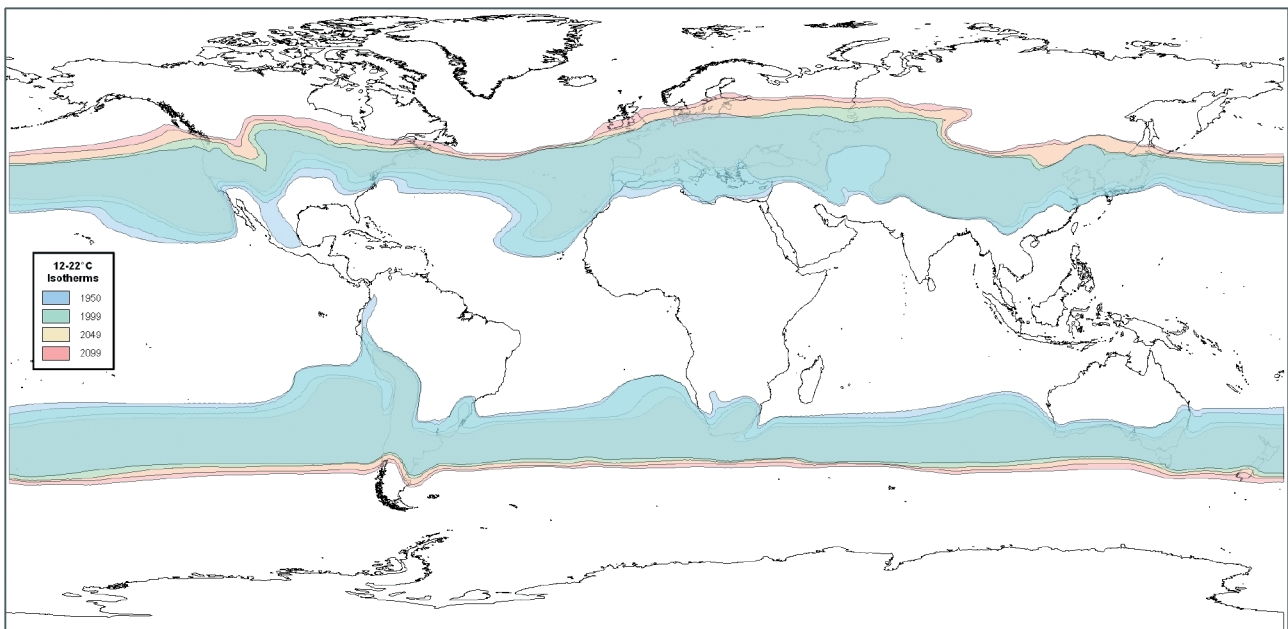


Fig. 3 - Mappa mondiale delle isoterme comprese tra 12 e 22 °C (emisfero Nord, aprile-ottobre; emisfero Sud, ottobre-aprile) derivate da dati storici e simulazioni fornite dal Community Climate System Model (CCSM). La mappa mostra quattro simulazioni (1950, 1999, 2049 e 2099) e le proiezioni future ipotizzano uno scenario A1B di emissione di gas serra nell'atmosfera (entità moderata). Le isoterme comprese tra 12 e 22 °C comprendono i limiti estremi di latitudine per la maggioranza delle regioni viticole mondiali (Gladstones, 2005; Jones, 2006).

Fig. 3 - Map of growing season average temperature 12°-22°C isotherms (Northern Hemisphere, Apr-Oct and Southern Hemisphere, Oct-Apr) derived from observations and model runs from the Community Climate System Model (CCSM). The map represents four runs – 1950, 1999, 2049, and 2099 with future projections driven by the A1B emission scenario (moderate future consumption). The 12°-22°C isotherms represent the latitudinal limits of the majority of the world's grape growing areas (Gladstones, 2005; Jones, 2006).

massimo per il Portogallo (2,9 °C / 50 anni). Per Borgogna, Valle del Reno, Barolo e Bordeaux, i trend decadali prevedono incrementi termici compresi tra 0,3 e 0,5 °C mentre per l'intero periodo (2000-2049) il riscaldamento medio dovrebbe essere compreso tra 1,5 e 2,4 °C (fig. 4). Secondo Jones *et al.* (2005a) si può quindi facilmente prevedere che molte regioni viticole slitteranno, entro il 2049, oltre il valore termico ritenuto "ottimale" per il ciclo vegeto-produttivo. In sede di esempio, riprendendo quanto riportato in figura 1, si rileva che la regione di Bordeaux ha fatto registrare negli ultimi 50 anni, una temperatura media aprile-ottobre pari a 16,5 °C. Se, a tale valore, viene aggiunto il valore medio di riscaldamento (+2,3 °C) previsto tra 2000 e 2049 si raggiunge una soglia di 18,8 °C che pone questa prestigiosa area viticola al limite superiore della fascia climatica ritenuta ottimale per i vitigni rossi coltivati e addirittura fuori "quota" per ciò che concerne la vocazionalità coltura-

le di quelli a bacca bianca. Ancora più eclatante è l'esempio riferito alla Napa Valley per la quale al dato storico di 17,5 °C va addizionato il differenziale termico previsto da qui al 2049 (+ 2,2 °C). Il valore risultante (19,7 °C) colloca questa famosa regione viticola al limite superiore della fascia climatica ritenuta ottimale per tutti i vitigni coltivati più famosi (fig. 1). Infine, i risultati mostrano una tendenza al riscaldamento dell'aria in inverno che potrebbe influenzare la resistenza al freddo delle gemme e, al tempo stesso, un ampliamento delle oscillazioni termiche stagionali che potrebbe risultare in più frequenti danni da gelo e nell'espansione delle aree potenzialmente interessate da brinate.

White *et al.* (2006), utilizzando un modello regionale ad alta risoluzione (25 km) e ipotizzando un scenario di emissione di CO<sub>2</sub> di tipo IPCC A2, prevedono che, negli USA, la superficie totale delle aree considerate vocate per la viticoltura scenderà dell'81%

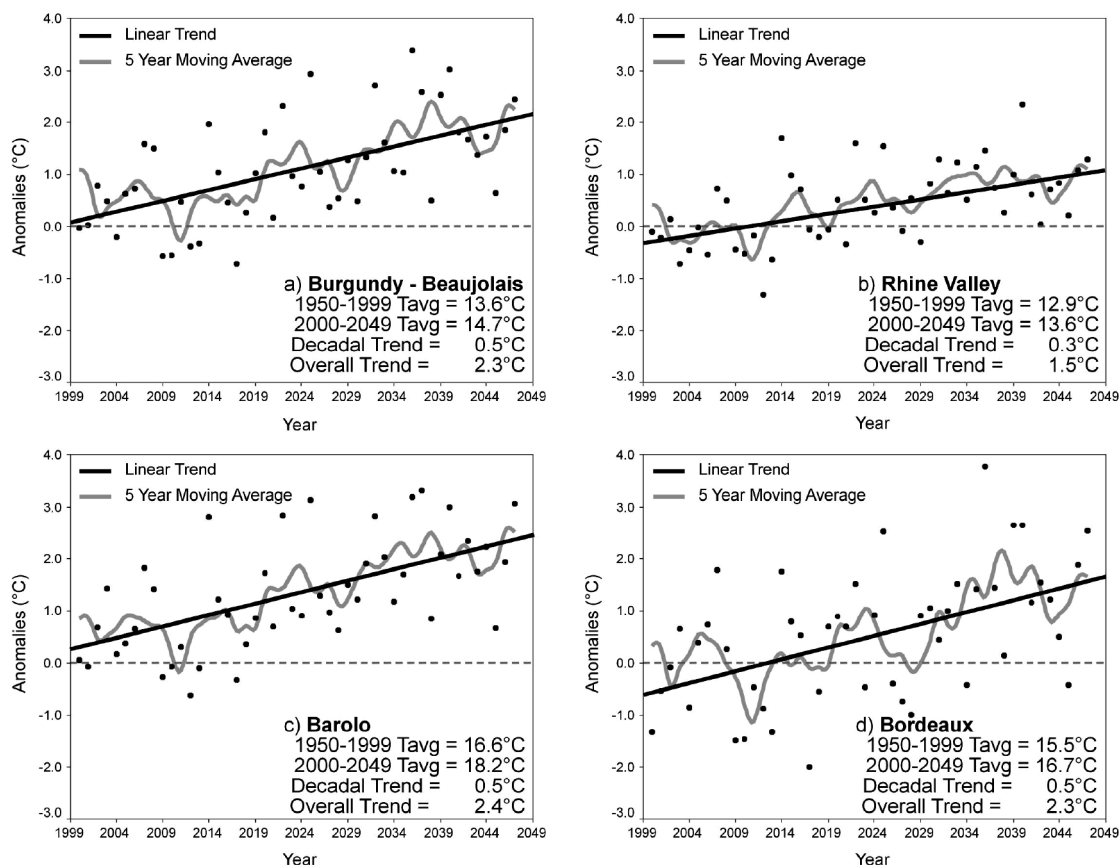


Fig. 4 - Previsione di variabilità di temperature stagionali per a) Borgogna, b) Valle del Reno, c) Barolo, d) Bordeaux secondo Jones *et al.* (2005a). I dati sono basati sul modello HadCM3 e sono su base mensile ricavata da una griglia di 2,5° x 3,75° centrata sulle varie regioni viticole per il periodo 2000-2049. Tali simulazioni hanno come riferimento storico il periodo 1950-1999 ricavato sempre da HadCM3. I valori di Trend sono dati sia su base decennale sia come variazione media complessiva prevista sul cinquantennio.

Fig. 4 – Modeled growing season average temperature anomalies for a) the Beaujolais region of Burgundy, b) the Rhine Valley, c) Barolo, and d) Bordeaux as analyzed by (Jones *et al.*, 2005a). The modeled temperature data are from the HadCM3 climate model on a monthly time scale extracted from a 2.5° x 3.75° grid centered over the wine producing regions for 2000-2049. The anomalies are referenced to the 1950-1999 base period from the HadCM3 model. Trend values are given as an average decadal change and the total change over the 50-year period.

entro la fine del secolo. Inoltre, il modello, prefigura anche un deciso aumento della frequenza di giornate particolarmente calde ( $>35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) che elimineranno completamente la coltura della vite in molte aree geografiche statunitensi. Con buona probabilità, le zone vitivinicole si restringeranno a piccole fasce della costa Ovest ed ad alcune aree di Nord-Ovest e Nord-Est nelle quale, già oggi, l'eccessiva umidità costituisce un problema (White *et al.*, 2006).

Jones (2007d) ha esaminato più nel dettaglio la vocazionalità viticola degli stati occidentali USA, storicamente basata sul calcolo di sommatorie termiche secondo l'indice di Amerine e Winkler (1944). L'indice classifica le diverse regioni in base ai gradi giorno di temperatura attiva ottenuti sommando, da aprile a ottobre, le temperature medie giornaliere detratte di un valore soglia pari a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Le 5 regioni risultanti mostrano un'ampia variabilità in termini di tipologie climatiche, spaziando da aree "fresche" ad aree "calde". Dati recenti a risoluzione di 1 km (Daymet; Thornton *et al.*, 1997) testimoniano che la regione I è più a nord, più costiera e caratterizzata da maggiore altitudine (es. Willamette Valley); nel contempo la regione V, la più calda, è confinata nella Central Valley nonché in aree meridionali della California (es. San Joaquin Valley) (fig. 5). Su media calcolata per il periodo 1980-2003, emerge che il 34% degli stati occidentali degli USA ricade nelle regioni

I-V e che il 59% del territorio risulta troppo freddo ( $<1.111$  gradi-giorno) e il 7% troppo caldo ( $>2.778\text{ }^{\circ}\text{C}$  gradi-giorno). Le quote di superficie assegnate alle varie zone sono, nell'ordine, del 34,2% (I), 20,8% (II), 11,1% (III), 8,7% (IV), e 25,2% (V). Si deduce che gli USA occidentali sono prevalentemente ai margini della vocazionalità con il 59% della superficie ricadente nelle regioni più fredde e calde (I e V, nell'ordine). Il modello Community Climate System Model (CCSM) prevede incrementi di  $1,0\text{-}3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  entro il 2049 corrispondenti ad un aumento in sommatorie in gradi-giorno pari al 15-30% (fig. 5). Ipotizzando un incremento di  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la superficie degli USA occidentali che, entro il 2049, ricadrebbe nelle regioni I-V aumenterebbe del 5% (dal 34% al 39%) mentre nel caso di un salto di  $+3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (equivalente ad un aumento di gradi giorno di circa il 30%), lieviterebbe di un 9%. Nel complesso, i cambiamenti segnalano una riduzione dell'estensione delle aree che sono troppo fredde (dal 59% al 41%) mentre le aree troppo calde aumenterebbero dal 7% al 16% per lo scenario peggiore (Jones, 2007d). Per quanto attiene le singole regioni climatiche, si prevede un aumento di superficie per la regione I (dal 34,2% al 40,6%), scarse variazioni per la II (dal 20,8% al 23,4%), la III (da 11,1% a 14,2%), la IV (da 8,7% a 10,1%) e, invece, una riduzione dell'area afferente alla regione V da 25,2% a 11,6%. In termini geografici, lo slittamento delle

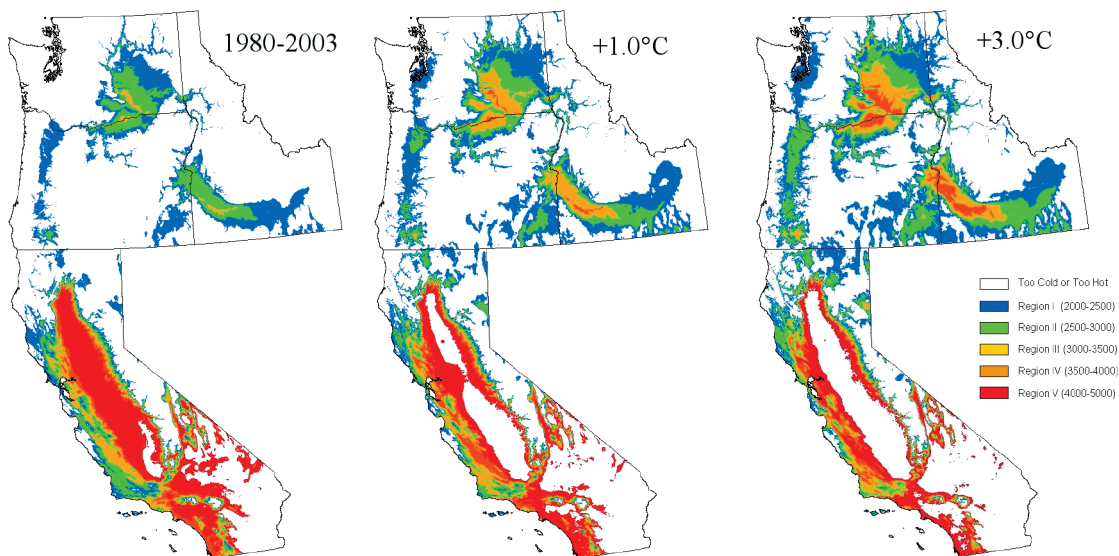


Fig. 5 - Localizzazione delle regioni di Winkler (USA occidentali) definita dalla banca dati Daymet (Thornton *et al.*, 1997) sulla base di sommatorie stagionali di gradi giorno (temperatura media giornaliera  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  da aprile a ottobre). Il grafico a sinistra è la media per il periodo 1980-2003. Quello centrale è una proiezione che ipotizza un incremento medio di  $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  per il periodo 1980-2003 mentre quello di destra è una previsione che impone invece, sempre per lo stesso periodo, un incremento di  $+3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Fig. 5 - Winkler Regions for the western U.S. based on Daymet (Thornton *et al.*, 1997) daily 1 km resolution daily temperature data (growing degree-days, base  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  over Apr-Oct). The left panel is the average over the 1980-2003 time period. The middle panel is a projection of a  $+1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  increase over 1980-2003 (low range of projected climate change by 2049). The right panel is a projection of a  $+3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  increase over 1980-2003 (high range of projected climate change by 2049).



regioni è verso la costa, specie per la California, e verso zone a maggiore altitudine (maggiore espansione verso le montagne della Sierra del Nevada). Altre aree mostrano variazioni su ampia scala che, come per la Willamette Valley, comportano il passaggio da una regione all'altra (in questo caso da I a II).

In un altro studio relativo alla costa occidentale USA, Lobell *et al.* (2006) hanno valutato l'impatto del cambio climatico sulla produttività di diverse colture in California. La ricerca ha interfacciato l'output di numerosi modelli climatici con quelli di performance agronomica per mandorlo, noce, avocado, vite e uva da tavola. I risultati mostrano riscaldamenti variabili da 1,0 a 3,0 °C entro il 2050 e da 2,0 a 6,0 °C per il 2100; per le precipitazioni la quota di variabilità va da -40 a +40% per entrambe le scadenze. La vite è la specie che mostra i decrementi di resa più contenuti rispetto alle altre pur confermando una decisa tendenza ad uno spostamento della "vocazionalità" verso zone costiere o settentrionali. Tuttavia, gli autori sottolineano che le previsioni di resa hanno scarsa attinenza con le previsioni di cambio climatico e sono più strettamente connesse ai progressi tecnologici e all'arricchimento in CO<sub>2</sub> dell'atmosfera.

Altre previsioni climatiche prodotte per Europa (Kenny e Harrison, 1992; Butterfield *et al.* 2000; Stock, 2005), Australia (McInnes *et al.*, 2003; Webb *et al.*, 2005), e Sud Africa (Carter, 2006), pur utilizzando modelli diversi, sono approdate a scenari simili. Per l'Europa, Kenny e Harrison (1992) prevedono che alcune aree meridionali diverranno troppo calde per la produzione di vini di pregio mentre altre aree settentrionali acquisteranno questa prerogativa. In un'analisi della vocazionalità viticola in Europa basata sull'indice di Huglin (Huglin 1985), Stock (2005) prefigura incrementi di 100-600 unità con notevoli ripercussioni sulla distribuzione delle aree vitate. Nello specifico, per la Spagna, Rodriguez *et al.* (2005) prendendo in esame diversi scenari di emissione di CO<sub>2</sub>, ipotizzano 0,4-0,7 °C di riscaldamento per decade con incrementi maggiori in estate rispetto all'inverno. Nel complesso, entro il 2100, l'entità del riscaldamento per le zone interne della Spagna varierà da 5 a 7 °C e da 3 a 5 °C per le zone costiere. In parallelo, Rodriguez *et al.* (2005) prefigurano primavere ed estati più secche e una piovosità annuale più ridotta. Tuttavia, per quest'ultima, la variabilità prevista entro il territorio spagnolo è maggiore rispetto a quella ipotizzata per la temperatura.

Sempre con approccio modellistico, teso in questo caso ad un'analisi più mirata dei rapporti clima-vitigno, Lebon (2002) prevedono che l'inizio dell'invaia-tura dello Syrah (véraison) nel sud della Francia si

sposterà dalla seconda settimana di agosto alla terza di luglio nel caso di un riscaldamento di 2 °C ed alla prima di luglio qualora la temperatura, da qui al 2100, aumentasse di 4 °C. Inoltre, la ricerca prevede che un significativo riscaldamento nel corso della fase di maturazione (specie se notturno) possa influenzare la sintesi degli aromi e dei profumi e, quindi, in ultima analisi, la tipicità dei vini (Lebon, 2002).

Per l'Australia, Webb *et al.* (2005) prevedono che, da qui al 2070, la temperatura si alzerà di 1,0-6,0 °C con un conseguente incremento dei giorni caldi e un calo della frequenza di brinate; l'oscillazione delle precipitazioni si prevede invece più ampia e, tuttavia, su base stagionale, vi è una indicazione ad un ruolo sempre più cruciale dell'irrigazione. In questo continente, il mantenimento della vocazionalità viticola presupporrà un probabile slittamento della viticoltura verso aree più meridionali e costiere.

Per il Sud-Africa, i modelli climatici previsionali relativi a temperatura e piovosità mettono in primo piano gli effetti sulla fenologia e sulla disponibilità idrica (Carter, 2006). La ricerca prevede che la coltura della vite diventerà più rischiosa e dispendiosa e che assumeranno primaria importanza le tecniche colturali in grado di gestire al meglio la risorsa idrica. Gli autori precisano inoltre che la situazione con ogni probabilità accentuerà altre tendenze tra le quali l'aumento dei prezzi dei vini, la riduzione del numero dei viticoltori e la necessità di adozione di nuove, ma ancora non definite, strategie di adattamento colturale.

Nel complesso tutte queste indagini, e quelle citate in precedenza, suggeriscono che le grandi sfide alle quali l'industria del vino sarà chiamata a rispondere riguardano l'anticipo del ciclo annuale, la variazione di collocazione geografica ottimale di alcuni vitigni, la riduzione della "finestra" ottimale di vendemmia per uve destinati alla produzione di vini di pregio e una gestione più efficiente della già scarsa risorsa idrica.

### Sintesi e implicazioni future

È evidente dall'analisi di serie storiche di dati che i climi della Terra si sono modificati su scale temporali di diversa ampiezza (Le Roy Ladurie, 1971; Pfister, 1988). Queste variazioni hanno spesso guidato la "vocazionalità" delle diverse specie all'ambiente e la vite non costituisce certo una eccezione. Per questa specie, peraltro, le fasce climatiche "ottimali" sono relativamente strette se rapportate a quelle di altre colture. Senza dubbio, i cambiamenti climatici osservati nell'ultimo cinquantennio, sono stati nel complesso "favorevoli" alla diffusione geografica

della vite poichè caratterizzati da stagioni vegetative più lunghe e calde e da minori rischi di brinate primaverili. Occorre tuttavia precisare che il cambiamento climatico ha influenzato maggiormente le aree geografiche in direzioni dei poli sia rendendo alcune aree già tipiche per la vite più stabili ma anche consentendo la messa in coltura di vitigni in aree prima considerate troppo fredde o, in alcuni casi, “creando” nuovi territori idonei alla viticoltura. Allo stesso tempo, però, il cambiamento climatico ha determinato, per zone già “calde” una problematica di mantenimento dei profili aromatici. Parallelamente al mutamento del clima si sono verificati, peraltro, innegabili progressi di tecnica colturale ed enologica che hanno spesso consentito ai viticoltori di fare fronte a queste nuove “sfide”. I modelli di previsione di cambiamento climatico indicano però, per il futuro, un tasso di modifica che, per potere essere fronteggiato in termini di “adattabilità”, esigerà progressi tangibili sul fronte del miglioramento genetico (Bisson *et al.* 2002; Vivier e Pretorius, 2002).

Senza ombra di dubbio, il tema del cambiamento climatico a livello mondiale è oggi uno dei temi più studiati e dibattuti. Se, da un lato, è storicamente chiaro e accertato che l'evoluzione dei climi è anche il risultato di un adattamento spontaneo del pianeta Terra a forze interne ed esterne, le prove che supportano un ruolo attivo dell'uomo sul clima sono sempre più evidenti. Ne sono testimonianza desertificazione, deforestazione, urbanizzazione e relativo profondo cambiamento del bilancio energetico e, infine, alterazione della concentrazione di gas nell'atmosfera con una intensificazione dell'effetto serra oltre livelli largamente eccedenti quelli di una evoluzione “naturale”. Nel complesso, le considerazioni che seguono, formulate nel corso dell'ultima Conferenza Intergovernativa sul “Climate Change” e diffuse come “Riassunto per i Legislatori” (IPCC, 2007), esprimono con efficacia il nostro attuale stato di conoscenza:

*“Il riscaldamento del sistema climatico terrestre è un fatto inequivocabile come dimostrato da dati oggettivi di riscaldamento dell'aria e dell'acqua degli oceani, riduzione dei ghiacciai e innalzamento del livello dei mari.”*

*“Una quota preponderante dell'innalzamento termico osservato a partire dalla metà del XX secolo è dovuta ad un effetto serra legato all'attività dell'uomo che, peraltro, ha un ruolo significativo anche su riscaldamento degli oceani, temperatura medie delle zone interne, estremi termici e andamento della ventosità.”*

*“Il riscaldamento dell'aria e delle acque di natura antropogenica continuerà per secoli a causa degli effetti temporali e dei meccanismi di retro-azione tipici dei fenomeni climatici; questi processi continueranno anche se la concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera si dovesse stabilizzare.”*

Acquisite tali conoscenze, il ruolo della società dovrebbe ora bandire le esitazioni e le accuse reciproche facendo invece prevalere gli elementi di mitigazione degli effetti e di adattamento. Se, da un lato, l'industria del vino ha la possibilità di attenuare, in qualche misura, l'impatto dovuto all'utilizzo di fonti derivanti da carburanti fossili attraverso un miglioramento tecnologico in vigneto e in cantina, è certo che la risposta più forte dovrà derivare dal miglioramento genetico. Poichè è noto che i vini migliori si ottengono da fasce climatiche relativamente ristrette in estensione, è cruciale considerare in quale fascia climatica si colloca oggi una certa zona viticola e il tasso previsto di riscaldamento per quella regione. Tornando a quanto riportato in figura 1, si nota che la “vocazionalità” varietale in funzione dell'ambiente ha una finestra termica di 2-3 °C e che, allo stesso tempo, le proiezioni di riscaldamento per le più importanti regioni viticole del mondo oscillano tra 1 e 7 °C. È implicito che aumenti termici di tale entità avranno la capacità di indurre profondissime variazioni della geografia viticola mondiale.

Anche se l'analisi dell'impatto del *climate change* ha messo in primo piano il fattore temperatura, altri elementi capaci di condizionare la qualità delle uve e del vino includono gli effetti che il tasso crescente di CO<sub>2</sub> atmosferica potrà avere sulla crescita della vite, il sempre più critico bilancio idrico in regioni già caratterizzate da scarsa piovosità e, non ultimo, le ripercussioni dovute alla diversa presenza o intensità di attacco di determinati patogeni. Pur non disdegnando il nostro livello attuale di conoscenza, l'accuratezza con la quale si possono prevedere gli effettivi cambiamenti spaziali e temporali del clima è relativamente bassa. Per tale ragione, il mondo viticolo deve essere particolarmente attento e pronto a stimare l'impatto climatico, implementare strategie appropriate di adattamento, predisporre a cambiamenti di scelta varietale e/o di tecnica colturale e a sviluppare anche tecnologie totalmente innovative. Tuttavia, con ogni probabilità, la sfida più ardua in termini di adattamento sarà come i viticoltori risponderanno “culturalmente” ai cambiamenti di “identità” di un certo territorio imposti da mutamenti della piattaforma ampelografica o dello stile dei vini.

Se esiste un forte margine di incertezza inerente la previsione esatta dell'entità e della direzione dei futuri cambiamenti climatici, non vi è invece alcun dubbio che gli scenari climatici del futuro, sia a breve che lungo termine, saranno diversi rispetto a quelli odierni. Questa "certezza" non può giustificare attendismo o immobilismo; i settori dell'agricoltura più consapevoli di questa situazione e più dinamici nell'attività di ricerca mirata alla individuazione di nuovi genotipi, tecniche colturali e di trasformazione si riveleranno vincenti in questa sfida di "adattamento".

## Ringraziamenti

Questo articolo si basa anche sul lavoro di molti colleghi che desidero ringraziare. Parte del lavoro dell'autore è ancora in corso di stampa o in fase di revisione. I dati reativi a Jones *et al.* (2005a) sono stati estrapolati dal Climate Impacts LINK Project (DEFRA Contract EPG 1/1/124) per conto dell'Hadley Centre e dall'U.K. Meteorological Office per quanto attiene i dati HADCM3.

Traduzione ad opera della dott.ssa Barbara Rebucci

## Riassunto

I cambi di clima hanno il potenziale di influenzare qualsiasi forma di coltivazione. Tuttavia, il processo storico dimostra che zone vocate per la vite (relativamente "ristrette" rispetto a quelle di altre colture) sono particolarmente suscettibili alle variazioni climatiche. Se, da un lato, il più volte assodato riscaldamento dell'aria osservato negli ultimi 50 anni ha esercitato un ruolo di prevalente miglioramento della qualità dei vini su scala mondiale, le proiezioni future indicano invece un duplice possibile effetto: positivo in termini di ampliamento delle zone in cui anche la coltura della vite diventerà praticabile (es. alcune aree del nord Europa) e negativo se riferito a zone già "temperate" per le quali il mantenimento della coltura della vite porrà problemi colturali ed enologici sempre più gravi. Nel complesso, le proiezioni di tipologia ed entità di cambiamento climatico apriranno certamente nuove sfide per la viticoltura tra le quali spiccano il ruolo sempre più strategico delle risorse idriche, gli spostamenti temporali delle fasi fenologiche, le alterazioni o, nei casi più gravi, la perdita delle caratteristiche di tipicità aromatica e, infine, gli adattamenti di scelta variatale che si imporranno anche a livello regionale.

**Parole chiave:** cambio climatico, viticoltura, vite, vino.

## Bibliografia

- AMERINE M.A., WINKLER A.J., 1944. *Composition and quality of musts and wines of California grapes*. Hilgardia, 15: 493-675.
- BINDI M., FIBBI L., GOZZINI B., ORLANDINI S., MIGLIETTA F., 1996. *Modeling the Impact of Future Climate Scenarios on Yield and Variability of Grapevine*. Clim. Res. 7: 213-224.
- BISSON L.F., WATERHOUSE A.L., EBELER S.E., WALKER M.A., LAPSLEY J.T., 2002. *The present and future of the international wine industry*. Nature 418: 696-699.
- BUTTERFIELD R.E., GAWITH M. J., HARRISON P.A., LONSDALE K.J., ORR J., 2000. *Modelling climate change impacts on wheat, potato and grapevine in Great Britain*. In Climate Change, Climate Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment. Environmental Change Institute, University of Oxford.
- CARTER T.R., PARRY M.L., PORTER J.H., 1991. *Climatic change and future agroclimatic potential in Europe*. Int. J. Climatol. 11: 251-269.
- CARTER S., 2006. *The Projected Influence of Climate Change on the South African Wine Industry*. Interim Report IR-06-043, International Institute for Applied Systems Analysis, 33 pp.
- CHUINE I., YIOU P., VIOUV N., SEGUIN B., DAUX V., LE ROY LADURIE E., 2004. *Grape Ripening as a Past Climate Indicator*. Nature, 432: 289-290.
- DUCHÈNE E., SCHNEIDER C., 2005. *Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace*. Agron. Sustain. Dev. 24: 93-99.
- DE BLIJ H.J., 1983. *Geography of viticulture: rationale and resource*. J. Geog. 82: 112-121.
- EASTERLING D.R., 2000. *Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review*. Bull. Am. Meteorol. Soc. 81: 417-425.
- GLADSTONES J., 1992. *Viticulture and Environment*. Winetitles, Adelaide.
- GLADSTONES J., 2005. *Climate and Australian Viticulture*. In Viticulture 1 - Resources, Dry, P.R. and B.G. Coombe, editors. Winetitles, 255 pp.
- GODDEN P., GISHEN M., 2005. *Trends in the composition of Australian wine*. The Australian and New Zealand Wine Industry Journal. 20(5): 21-46.
- IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of the Working Group 1 to the Third Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Summary for Policymakers. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat (<http://www.ipcc.ch/>).
- HUGLIN P., 1978. *Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole*. C. R. Acad. Agr. France: 1117-1126.
- JOHNSON H., 1985. *The World Atlas of Wine*. 3<sup>rd</sup> ed., Simon and Schuster, New York.
- JONES G.V., DAVIS R.E., 2000. *Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France*. Am. J. Viti. Enol. 51: 249-261.
- JONES G.V., WHITE M.A., COOPER O.R., STORCHMANN K., 2005a. *Climate Change and Global Wine Quality*. Climatic Change, 73(3): 319-343.
- JONES G.V., DUCHÈNE E., TOMASI D., YUSTE J., BRASLAVSKA O., SCHULTZ H., MARTINEZ C., BOSO S., LANGELLIER F., PERRUCHOT C., GUIMBERTEAU G., 2005b. *Changes in European Winegrape Phenology and Relationships with Climate*. GESCO 2005.
- JONES G.V., 2005c. *Climate change in the western United States grape growing regions*. Acta Horticulturae, 689: 41-60.

- JONES G.V., 2005d. How Hot is Too Hot? *Wine Business Monthly*, 12(2), February 2005.
- JONES G.V., 2006. *Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Wine*. In Fine Wine and Terroir - The Geoscience Perspective. MacQueen, R.W., and Meinert, L.D., (eds.), Geoscience Canada Reprint Series n.9, Geological Association of Canada, St. John's, Newfoundland, 247 pp.
- JONES G.V., 2007a. *Spatial Changes in Global Viticulture Zones*. In process.
- JONES G.V., 2007b. *Structure and trends in wintertime extreme minimum temperatures in eastern Washington and the Niagara region of Canada*. In process.
- JONES G.V., GOODRICH G.B., MILLER J., 2007c. *Influences of Climate Variability on the U.S. West Coast Wine Regions and Wine Quality in the Napa Valley*. In process.
- JONES G.V., MYERS J., WHITE M.A., SURBEY S., 2007d. *Reanalysis of Winkler Regions for the Western United States*. In process.
- KARL T.R., 1993. *A new perspective on global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature*. Bulletin of the American Meteorological Society, 74: 1007-1023.
- KENNY G.J., HARRISON P.A., 1992. *The effects of climate variability and change on grape suitability in Europe*. J. Wine Research. 3: 163-183.
- LOBELL D.B., FIELD C.B., CAHILL K.N., BONFILS C., 2006. *Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties*. Agricultural and Forest Meteorology, 141(2-4): 208-218.
- MENZEL A., FABIAN P., 1999. *Growing season extended in Europe*. Nature 397, 659.
- MOONEN A.C., ERCOLI L., MARIOTTI M., MASONI A., 2002. *Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years*. Agri Forest Meteorol. 111: 13-27.
- LEBON E., 2002. *Changements climatiques : quelles conséquences pour la viticulture*. CR 6ième Rencontres Rhodaniennes: 31-36
- LE ROY LADURIE E., 1971. *Times of Feast, Times of Famine: A History of Climate Since the Year 1000*. Doubleday, Garden City, New York.
- LOUGH J.M., WIGLEY T.M.L., PALUTIKOF J.P., 1983. *Climate and climate impact scenarios for Europe in a warmer world*. J. Clim. Appl. Meteorol. 22: 1673-1684.
- MAZUR M., 2002. *Wine Enthusiast's 2002 Vintage Chart*. The Wine Enthusiast Magazine (<http://www.winemag.com/vintage.cfm>).
- MCINNES K.L., WHETTON P.H., WEBB L., HENNESSY K.J., 2003. *Climate change projections for Australian viticultural regions*. The Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker. February 2003: 40-47.
- NEMANI R.R., WHITE M.A., CAYAN D.R., JONES G.V., RUNNING S.W., COUGHLAN J.C., 2001. *Asymmetric climatic warming improves California vintages*. Climate Research 19(1): 25-34.
- PENNING-ROSWELL E., 1989. *Wines of Bordeaux*. 6<sup>th</sup> ed., Penguin Books, London/New York.
- PFISTER C., 1988. *Variations in the spring-summer climate of central Europe from the High Middle Ages to 1850*. H. Wanner and U. Siegenthaler (Eds.), Long and Short Term Variability of Climate, Berlin: Springer-Verlag: 57-82.
- POPE V.D., GALLANI M.L., ROWNTREE P.R., STRATTON R.A., 2000. *The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model - HadAM3*. Clim. Dyn., 16: 123-146.
- RENNER B., 1989. *The shape of things to come*. Wine and Spirit, december, 55-57.
- RODRIGUEZ J.M., +48, 2005. *Main conclusions from the Preliminary Assessment of the Impacts in Spain due to the Effects of Climate Change*. Project ECCE, Ministry of the Environment and the University of Castilla-La Mancha. 39 pp.
- SCHULTZ H.R., 2000. *Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide, and UV-B effects*. Aust. J. Grape and Wine Res. 6: 2-12.
- STEVENSON T., 2001. *New Sothebys Wine Encyclopedia: A Comprehensive Reference Guide to the Wines of the World*, 3<sup>rd</sup> ed., Dorling Kindersley, London.
- STOCK M., 2005. *Klimaveränderungen fordern die Winzer - Bereitschaft zur Anpassung ist erforderlich*. Geisenheimer Berichte, Band 57: 29-48.
- TATE A.B., 2001. *Global warming's impact on wine*. J. Wine Res. 12: 95-109.
- THORNTON P.E., RUNNING S.W., WHITE M.A., 1997. *Generating surfaces of daily meteorology variables over large regions of complex terrain*. J. Hydrol. 190: 214-251.
- UNWIN T., 1991. *Wine and the Vine: An Historical Geography of Viticulture and the Wine Trade*. Routledge, London and New York.
- VIVIER M.A., PRETORIUS I.S., 2002. *Genetically tailored grapevines for the wine industry*. Trends in Biotechnology, 20(11): 472-8.
- VIERRA G., 2004. *Pretenders at the Table - Are table wines no longer food friendly?* Wine Business Monthly, 11(7).
- WEBB L.B., WHETTON P.H., BARLOW E.W.R., 2005. *Impact on Australian Viticulture from Greenhouse Induced Temperature Change*. In Zenger, A. and Argent, R.M. (eds) MODSIM 2005 Int. Congr. Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Soc. Austr. and New Zealand: 170-176.
- WHITE M.A., DIFFENBAUGH N.S., JONES G.V., PAL J.S., GIORGI F., 2006. *Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21<sup>st</sup> century*. Proc. Nat. Ac. Sci., 103(30): 11217-11222.
- WOLFE D.W., SCHWARTZ M.D., LAKSO A.N., OTSUKI Y., POOL R.M., SHAULIS N.J., 2005. *Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in north-eastern USA*. Int. J. Biometeorology, 49(5): 303-309.