



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
Dipartimento Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e  
Ambiente

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie viticole ed enologiche

Cambiamento climatico: un resoconto sugli effetti e  
strategie di adattamento in viticoltura  
Climate change: a report on effects and adaptation strategies in  
viticulture

**Docente di riferimento**

Prof.ssa Serena Varotto

**Laureanda**

Emma Mattioli

Matricola n. 1191431

ANNO ACCADEMICO 2021/2022



## Sommario

|   |    |
|---|----|
| Abstract.....   | 5  |
| Introduzione.....   | 6  |
| Cambiamento climatico: cos'è, cause ed effetti .....  | 8  |
| Cause naturali e storia del clima .....   | 10 |
| Cause artificiali .....   | 12 |
| Clima nel Mediterraneo e in Italia .....  | 14 |
| Focus on: Venezia .....   | 14 |
| Previsioni del clima.....   | 16 |
| Effetti del cambiamento climatico in viticoltura .....                                      | 18 |
| Effetti della CO <sub>2</sub> e aumento di temperatura .....                                | 19 |
| Areali di distribuzione e <i>terroir</i> .....  | 19 |
| Impatti sulla componente fitoparassitaria e insorgenza di pandemie .....                    | 21 |
| Impatti sulla produttività e qualità della produzione .....                                 | 22 |
| Impatti sul mercato .....   | 22 |
| Strategie di adattamento e di mitigazione in viticoltura .....                              | 25 |
| Strategie di adattamento .....  | 25 |
| Strategie di mitigazione.....   | 27 |
| Miglioramento genetico: <i>genome editing</i> per ridurre stress da calore e carenza idrica | 28 |
| <i>Splicing</i> alternativo .....   | 31 |
| MicroRNA .....  | 31 |
| Marcatori molecolari.....   | 32 |
| Conclusioni.....  | 34 |
| Bibliografia .....  | 36 |
| Sitografia .....  | 38 |



## Abstract

La vite è fortemente influenzata dal clima e dal riscaldamento globale. Quest'ultimo, di difficile previsione, provoca molteplici effetti sulla vite che possono essere fronteggiati dalle strategie di adattamento.

Le soluzioni a breve termine, in viticoltura, prevedono tecniche per la gestione del vigneto, alcune già messe in atto dai viticoltori; le strategie a lungo termine, oltre a uso di portinnesti tolleranti, prevedono spostamento delle viti e variazione del sistema di allevamento. Per ridurre gli impatti del surriscaldamento globale è possibile attuare una viticoltura sostenibile, con la lotta integrata, una riduzione degli sprechi idrici e interventi meno frequenti in vigneto. Questi metodi, nell'insieme, potranno dare un buon risultato nella mitigazione delle condizioni atmosferiche future.

Un'altra possibile soluzione agli effetti del clima è l'uso delle biotecnologie per creare o scoprire cultivar resistenti o più adatte ai nuovi terroir del futuro, senza modificare l'intero genoma della pianta. Malgrado ciò, questa applicazione riscontra numerose perplessità nei consumatori e viticoltori, che non accettano facilmente un prodotto nuovo e "lontano" dalle tradizioni.

## Introduzione

È ormai noto che il cambiamento climatico sia una realtà vicina a molti settori, che può dare effetti notevoli su uomo, natura ed economia. Ed è proprio dall'economia che possiamo trovare i punti di forza per una *call for action* per governi e Paesi.

I modelli statistici su cui si basano le previsioni del clima sono basilari per la prevenzione e per la dimostrazione di possibili sviluppi distruttivi del complesso fenomeno del mutamento climatico. La data simbolo, prima della quale si ritiene non ci fossero strumenti per la misurazione e un'attività industriale massiccia, è il 1850. Prima di tale data i modelli di ricostruzione si basano sui rilevamenti di isotopi oppure su studi degli strati di ghiaccio (ad oggi messi a rischio dallo stesso surriscaldamento globale), mentre da questo momento in poi i termometri avrebbero registrato i primi mutamenti nell'andamento della temperatura.

Al 1979, quando vi fu la prima conferenza internazionale sul clima a Ginevra, quella dell'attività antropica come principale fattore scatenante l'aumento di temperatura era solo un'ipotesi, priva di testimonianze scientifiche. Ad oggi invece l'immissione massiccia di gas serra a causa della combustione di fossili data dalle attività umane è una realtà, univocamente concordata dalla comunità scientifica, nonché fattore determinante le mutazioni del clima (Guida, 2021). Tuttavia, i picchi di temperatura registrati soprattutto nel secolo scorso sono da attribuirsi anche a cause naturali, quali mutamenti nell'attività solare.

Nel settore vitivinicolo sono stati valutati, relativamente al cambiamento climatico, gli effetti dell'aumento di anidride carbonica, della temperatura e trovate delle soluzioni a breve e lungo termine per l'adattamento al cambio del clima. Sono a rischio terroir, tipicità e qualità del vino, essendo la vite una pianta pluriennale e pertanto molto vulnerabile ai cambiamenti climatici. Nella tesi si approfondirà il tema dell'impiego del *genome editing*, in Italia definito Tecnologia di evoluzione assistita (TEA), come possibile strumento per affrontare la siccità e alla carenza idrica in viticoltura.

Dunque, l'economia del vino è messa a repentaglio dai mutamenti climatici in quanto la vite (*Vitis vinifera*) è una coltura che permane produttiva per lunghi periodi. Si rivelano

fondamentali, in questa prospettiva, le conoscenze delle interazioni tra pianta-suolo-aria per la ricerca di varietà resistenti e resilienti, che si adattino a situazioni più verosimili possibili al sistema vigneto.

## Cambiamento climatico: cos'è, cause ed effetti

Il clima è l'insieme delle condizioni atmosferiche medie, misurate con telerilevamento da satelliti o misurazioni dirette, che si verificano a lungo termine (circa trent'anni) in una zona. A seconda che l'area in considerazione sia più o meno estesa possiamo distinguere macroclima, mesoclima e microclima.

Il cambiamento climatico è un'alterazione del normale stato del clima, identificato da modelli statistici di simulazione e studi paleoclimatici, che persiste per un periodo prolungato (alcuni decenni o più). Il mutamento può avvenire per cause naturali (interne o esterne, tra cui modulazione dei cicli solari, eruzioni vulcaniche) o cause artificiali, che alterano la composizione dell'atmosfera.

L'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), nato nel 1988, si poneva come obiettivo la valutazione degli impatti sociali ed economici e la ricerca, tramite esame di dati scientifici, di soluzioni al cambiamento climatico, da suggerire anche ai decisori politici (Guida, 2021). La Convenzione quadro delle Nazioni Unite (*United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*), attuata nel 1992, definisce la "variazione climatica" come un cambiamento naturale del clima, e attribuisce al termine "mutamento climatico" il risultato delle attività antropiche. L'IPCC invece, non distingue le attività umane dalle cause naturali nella definizione di "cambiamento climatico".

La *call for action* attuata dai Paesi per ridurre le emissioni pone un tetto massimo di temperatura a 1,5 °C rispetto all'era preindustriale. Due tappe fondamentali (Kyoto nel 1997 e Parigi nel 2015) segnano la presa in carico dei governi nell'interesse verso il clima; durante gli anni si stabilirono diverse Convenzioni, accordi e protocolli che invitavano (o erano legalmente vincolanti, quindi, obbligavano) gli stati ad evitare il raggiungimento della soglia, da attuarsi con strumenti di adattamento o mitigazione. Durante l'Accordo di Parigi si stabilì che, con incarico volontario, gli stati del mondo si impegnavano nella mitigazione del riscaldamento globale al di sotto di 2 °C entro il 2100. Nell'accordo si sottolineava che la soglia di temperatura stabilita non avrebbe escluso il pianeta dai fenomeni climatici estremi, ma avrebbe potuto limitarne l'entità.

La modificazione climatica comporta un sensibile accrescimento della temperatura e variazioni nelle precipitazioni; inoltre, si può notare l'aumento di probabilità di eventi estremi (tempeste e uragani), ondate di calore, siccità, innalzamento del livello del mare, scioglimento dei ghiacciai e incendi. Secondo l'IPCC (2014), tra i vari settori, quello dell'agricoltura, allevamento e deforestazione ha contribuito per il 24% nelle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera, nel periodo 2000-2010 (Guida, 2021).

I governi devono tenere conto delle difficoltà di alcuni Paesi (che siano economiche, geografiche, politiche, culturali, sociali) e soprattutto del *climate lag*: effetto ritardante nel riscaldamento, dovuto all'immissione di CO<sub>2</sub> in atmosfera; dopo il suo rilascio, parte del gas viene assorbito dall'acqua oceanica per essere successivamente emesso nell'atmosfera. Si prevede che questo fenomeno porti ad un ulteriore aumento di temperatura, pari a 0,6 °C.

Nell'ultimo rapporto sul cambiamento climatico dell'IPCC (2021) si legge: "ciascuno degli ultimi quattro decenni è stato successivamente più caldo di ogni altra decade che lo ha preceduto dal 1850". Infatti, dal 2000 al 2020 la temperatura della superficie terrestre è stata di 0,99 °C più alta del periodo 1850-1900 (Masson-Delmotte et al., 2021).

Il range dell'aumento di temperatura superficiale globale causato dall'uomo è compreso tra 0,8 e 1,3 °C, nel periodo che va dal 1850-1900 al 2010-2019 (Figura 1). I gas serra hanno contribuito al riscaldamento di 1,0-2,0 °C e nel 2019 le concentrazioni di CO<sub>2</sub> sono state le più alte registrate in 2 milioni di anni. "È molto probabile che i gas serra ben miscelati siano stati il principale motore del riscaldamento troposferico dal 1979" (Masson-Delmotte et al., 2021).

Il clima, insieme al suolo, costituisce il pedoclima; quest'ultimo è un parametro fondamentale nell'agricoltura e nella coltivazione della vite, perché influenza in modo diretto la pianta, in particolare crescita e produzione nel tempo, e identifica il *terroir*.

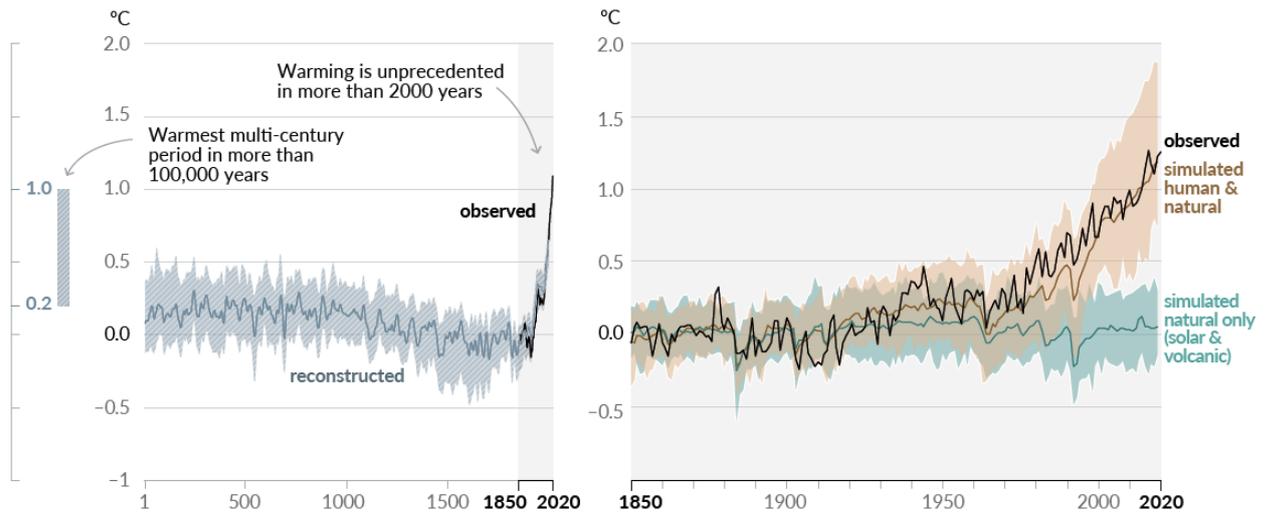


Figura 1 - Cambiamenti sulla temperatura superficiale del periodo 1850-1900: nel grafico a sinistra si notano i cambiamenti nella temperatura (con medie decennali) ricostruite in blu (1-2000) e osservate in nero (1850-2020); nel grafico a destra sono riportate le variazioni di temperatura (media annuale) osservate e simulate con l'uso di fattori umani (in beige) e solo naturali (in verde) (Masson-Delmotte et al., 2021).

## Cause naturali e storia del clima

Indicativamente possiamo dividere il clima in epoca pre-industriale e post-industriale; la data cruciale che si assume scandisca i due periodi è il 1850. Tra gli indicatori di temperatura che troviamo in epoca preindustriale ci sono il livello del mare, i ghiacciai, le attività vulcaniche, l'attività solare e l'agricoltura.

Nel corso dei secoli, il livello degli oceani si è alzato e abbassato in modo estremo due volte. Se calcolato rispetto ad oggi, tra l'XI e il XIII secolo c'è stato un aumento del livello di circa 40 cm, mentre nel XV secolo è diminuito di quasi un metro. Ad oggi si assume che il livello degli oceani si innalzi di circa 1,2 mm all'anno (Gladstones, 2007).

Le eruzioni dei vulcani possono immettere in atmosfera pulviscolo e aerosol, che comportano una diversa capacità di riflessione della luce e spesso, se le attività sono intense, portano ad un raffreddamento della superficie terrestre. Tra le attività vulcaniche più importanti possiamo notare, nel 1815, l'eruzione del vulcano Tambora (sull'isola di Sumbawa, in Indonesia) che causò estati fredde nei consecutivi anni fino al 1818. Tuttavia, gli effetti dei vulcani non coinvolgono il clima a livello globale, bensì sono limitati ad un emisfero e quindi gli eventi non sono distinguibili dalla variabilità di fondo

(Gladstones, 2007). Altre eruzioni rilevanti si sono verificate negli anni tra il 1880 e il 1915, e nel 1991 il vulcano Pinatubo ha generato un'estate più fredda di 0,4 - 0,5 °C nel 1992.

Il campo magnetico della Terra funge da scudo dai raggi cosmici e radiazioni UV e può variare nell'arco di millenni. Il carbonio-14, isotopo radioattivo del carbonio, è importante per identificare un periodo di alta o bassa intensità del campo magnetico e di variazioni di attività solare. Un metodo per la rilevazione attuato sugli alberi fossili dimostra che la presenza di basse concentrazioni di carbonio-14 corrisponde ad un'alta attività solare, ad un campo magnetico solare forte ed elevate temperature sulla Terra. L'isotopo del berillio <sup>10</sup>Be si accumula negli strati di neve nelle calotte polari, portato a terra dalle neviccate; la sua presenza nei livelli di neve dipende dall'intensità delle radiazioni che fanno interagire (fenomeno della spallazione nucleare<sup>1</sup>) il nucleo di nitrogeno e quello dell'ossigeno nell'alta atmosfera e, pertanto, ci dà traccia delle variazioni delle radiazioni solari e del campo magnetico. Nel XX secolo c'è stata una forte attività solare e ciò prova i mutamenti nelle temperature registrati a fine secolo. Di fatto, oggi, le tempeste solari (*sunspots*) hanno un ciclo sempre più breve, e il flusso magnetico solare è aumentato del 140% dal 1900 al 1963 e del 34% dal '63 (Gladstones, 2007).

L'agricoltura del passato ci dà prova delle temperature e del clima dall'areale di distribuzione di certe colture. Nel caso della viticoltura abbiamo testimonianze della presenza della vite e della vinificazione nell'Inghilterra del 1600; qui, il clima, era simile a quello del Mediterraneo oggi. Ne è testimonianza diretta la creazione dello Champagne: la base spumante è stata importata dalla zona Champagne, ma l'aggiunta dello sciroppo di dosaggio (*dosage*) avvenne a Londra. Fu il monaco Dom Perignon, in seguito, a perfezionare e migliorare il procedimento che è arrivato fino ai giorni nostri (Gladstones, 2007). Di lì a poco la produzione e il commercio dei vini inglesi subì una crisi dovuta al clima e alla peste nera. La viticoltura inglese odierna nasce solo dopo la Seconda Guerra Mondiale.

---

<sup>1</sup> La spallazione nucleare è un fenomeno naturale che avviene nell'atmosfera di alcuni corpi celesti e rappresenta l'effetto del bombardamento atomico con particelle molto energetiche; se due nuclei subiscono spallazione essi formano prodotti di spallazione (nuclidi) spesso radioattivi, usati come traccianti per lo studio dei processi in cui ha avuto luogo l'interazione.  
([https://it.wikipedia.org/wiki/Spallazione\\_nucleare](https://it.wikipedia.org/wiki/Spallazione_nucleare); <https://www.treccani.it/enciclopedia/spallazione/> )

Il grafico (Figura 2) rappresenta l'insieme delle temperature stimate nell'emisfero nord dall'anno mille al XX secolo. Le temperature si basano sull'intervallo registrato da inizio Novecento al 1980. Si nota una diminuzione di 0,2 °C delle temperature dal Mille all'inizio del XX secolo, mentre dal 1900 fino alla fine del XX secolo si nota un aumento di 0,8 °C. Nel XV secolo si registra la cosiddetta "Little Ice Age", mentre nel XVI-XVII secolo il "Medieval Warm Period" (Gladstones, 2007).

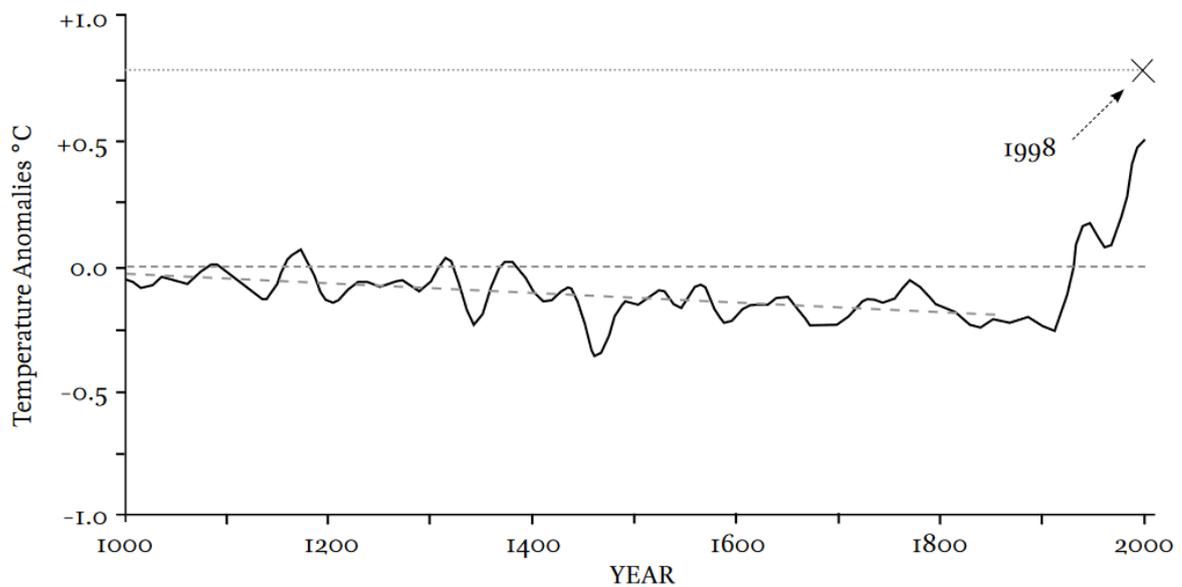


Figura 2 – Grafico a "Hockey Stick": grafico della stima delle anomalie nelle temperature medie del periodo 1902-1980 dell'emisfero Nord dal 1000 al 2000 (Gladstones, 2007).

## Cause artificiali

È ormai unanime la convinzione della comunità scientifica che il mutamento climatico sia dovuto in parte anche dall'uomo, con le emissioni di gas climalteranti derivati dall'uso di combustibili fossili, deforestazione e produzione cementifera.

L'effetto serra è un fenomeno naturale causato da alcuni gas (detti gas serra o GHG – *GreenHouse Gases*) in atmosfera, tra cui anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), vapore acqueo (H<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) e protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), grazie al quale la superficie terrestre mantiene la temperatura media di 15 °C. Tali gas sono trasparenti per le onde corte in entrata sulla superficie terrestre ma riflettono le onde lunghe riemesse dalla Terra, portando ad un incremento di temperatura.

L'utilizzo di combustibili fossili, la deforestazione, le intense attività industriali ed agricole, hanno portato ad un incremento in atmosfera di GHG, con il conseguente ulteriore surriscaldamento globale.

L'anidride carbonica è la principale responsabile dell'aumento delle temperature, nonché causa di maggiori cambiamenti nell'atmosfera; era presente in valori di 280 ppm nell'epoca preindustriale (Gladstones, 2007) e oggi raggiunge il valore di 418 ppm.

Secondo l'IPCC, per limitare l'aumento della temperatura globale a 1,5 °C devono essere quasi dimezzate le emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2030 rispetto al livello del 2010, raggiungendo lo zero netto entro il 2050; in alternativa, per ottenere un surriscaldamento limitato a 2 °C, le emissioni di CO<sub>2</sub> devono ridursi del 25 % entro il 2030 e azzerarsi entro il 2070 (Guida, 2021).

Il vapore acqueo non è un prodotto diretto dell'attività umana, ma contribuisce in buona parte all'incremento dell'effetto serra. L'acqua ha, inoltre, un effetto *feedback* positivo: all'aumento delle temperature corrisponde una maggiore evaporazione e quindi un effetto di maggiore riscaldamento dell'atmosfera. Analogamente, anche per i ghiacciai si verifica lo stesso effetto: se aumenta la temperatura, la copertura di neve si riduce, diminuiscono le onde riflesse e quindi la radiazione assorbita dalla terra è maggiore; si determina, dunque, un'amplificazione del riscaldamento globale.

L'uso delle terre, tra cui le deforestazioni e l'urbanizzazione, comportano cambiamenti nella riflessione della luce sulla superficie terrestre, generando variazioni anche nella temperatura.

Dal 1976 al 2006 è stato registrato un costante riscaldamento dovuto al vento della decennale Oscillazione dell'Oceano Pacifico ed eventi del El Niño. Inoltre, si sono verificati *sunspot* più frequenti e attività solare maggiore (*solar maximum*) che hanno contribuito alle variazioni climatiche. Tuttavia, nel 2007-2008 si è verificato un raffreddamento dato dal vento de La Niña (Gladstones, 2007).

## Clima nel Mediterraneo e in Italia

L'area del Mediterraneo, secondo recenti report dell'IPCC (2018), è una delle aree più vulnerabili al cambio del clima. Prevalenza di città costiere (che risentono maggiormente di fenomeni atmosferici), mancanza di una visione di insieme, fratture geopolitiche e conflitti, sono alcuni dei fattori che amplificano la difficoltà in una risposta unanime al mutamento. Inoltre, differenze sociali ed economiche contribuiscono alla diversificazione dei popoli, rendendo la comunicazione, la mitigazione e l'adattamento al surriscaldamento globale ancora più complicati (Guida, 2021).

Durante il Novecento si è riscontrato un aumento da 1,5 a 4 °C a seconda dell'area presa in considerazione e dal 1970 ad oggi le temperature della penisola iberica e sud della Francia, così come in Nord Africa, sono cresciute di 2 °C. Per quanto concerne le temperature registrate sulla superficie del mare, notiamo un incremento di 1,4 °C (al 2018) rispetto a quelle analizzate a fine secolo scorso. Il Mar Mediterraneo è caratterizzato da fondali poco profondi, che si riscaldano con tassi superiori a quelli degli oceani.

Il livello medio degli oceani, che negli ultimi decenni è aumentato di 3 cm ogni dieci anni (dovuto soprattutto all'Oscillazione Nord Atlantica), si ritiene possa aumentare di 0,55-1,01 m (Masson-Delmotte et al., 2021). Altri cambiamenti, tra cui acidificazione del mare dovuta all'aumento di concentrazione di anidride carbonica e variazione di salinità possono influenzare l'innalzamento del livello medio.

Gli scenari futuri prevedono un decremento del 4% di piogge se la temperatura globale si innalza di 1 °C, fino al 30 % se la temperatura si innalza di 2-4 °C, con la scomparsa del ghiaccio sui Balcani (Guida, 2021). L'aumento della popolazione, dell'urbanizzazione, l'intensificazione dell'attività agricola, l'inquinamento idrico e atmosferico e i conflitti politici hanno contribuito a peggiorare le condizioni economiche e all'aumento dei cambiamenti climatici.

### Focus on: Venezia

Venezia è una città costiera, pertanto risente maggiormente degli sbalzi di temperatura e del mutamento climatico. Il bacino lagunare è un sistema complesso ed è spesso

esposto ai rischi di inondazione a causa di mareggiate (fenomeno dell'acqua alta), modifiche ai fondali e rive per una migliore viabilità e soggetto al fenomeno di subsidenza naturale e artificiale (ovvero l'abbassamento del suolo).

Nel 1966 si è verificata una mareggiata eccezionale di 194 cm e negli ultimi dieci anni il livello 120 cm è stato superato per 40 volte; un evento anomalo si è verificato anche in Novembre del 2019. Tale singolare fenomeno si verifica principalmente per alcuni fattori, tra cui vento di Scirocco, attrazione lunare e un movimento periodico delle acque dell'Adriatico (fenomeno della sessa). A tal proposito, approvato nel 1982, fu messo a punto un sistema di barriere di paratie mobili, alle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, con l'intento di limitare gli effetti del fenomeno dell'acqua alta; il nome del progetto è MoSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico) e il primo funzionamento è avvenuto con successo nell'Ottobre del 2020 (Guida, 2021).

La città è entrata a far parte di numerosi gruppi rappresentativi e piani di azione ed è stata, inoltre, oggetto di premiazione come città modello per sistemi di allerta e Protezione Civile. Tra i contributi per la valutazione del rischio vi sono molteplici studi e piani, tra i quali un recente Progetto Triennale di Ricerca (chiamato Venezia 2021), in collaborazione con Università di Padova, Università Ca' Foscari, IUAV, Consiglio Nazionale delle Ricerche e Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, che si pone l'obiettivo di stimare scenari futuri per gli impatti, le vulnerabilità e i rischi climatici della laguna (CMCC, 2021).

L'evoluzione della temperatura a Venezia, nel periodo 1989-2020, riscontra un trend positivo (CMCC, 2021). In (Figura 3) si vede riassunta la tendenza della temperatura a Venezia e gli effetti che ha dato nel periodo sopracitato.

Venezia, la città dei Dogi, è un importante laboratorio a cielo aperto ed è diventata punto di riferimento per le altre città costiere nello sviluppo dei problemi legati al cambiamento climatico.



Figura 3 - Trend delle temperature, effetti e indicatori dal 1989 al 2020 ([www.cmcc.it/it/analisi-del-rischio-2021](http://www.cmcc.it/it/analisi-del-rischio-2021)).

## Previsioni del clima

Secondo l'ultimo report dell'IPCC (2021) la temperatura globale della superficie terrestre aumenterà fino a metà secolo; il limite di 1,5 – 2 °C verrà superato a meno che non si verifichino radicali riduzioni di emissioni di anidride carbonica.

Un approccio per la previsione del clima prevede la verifica di regolarità nelle fluttuazioni delle temperature. Nei secoli precedenti si è notato che da picco a picco di temperatura passavano quasi ciclicamente 70 anni. La successione è stata interrotta nel 1976, con oscillazioni dovute al riscaldamento climatico e ad eventi delle Oscillazioni Meridionali.

Le future concentrazioni di CO<sub>2</sub> (Vidotto F et al., 2013) saranno:

- Al 2050: 460 ppm
- Al 2100: 565 ppm

Molti cambiamenti nel sistema climatico avranno maggiore intensità in relazione all'aumento del riscaldamento globale: caldo estremo, precipitazioni intense, siccità, cicloni tropicali; inoltre, vi saranno scioglimento del ghiaccio artico, del permafrost e della neve. Nel ciclo dell'acqua aumenteranno la variabilità delle piogge monsoniche e la severità degli eventi di estrema siccità. Oceani e terre emerse avranno minore capacità di assorbire carbonio, e quindi di rallentare l'accumulazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera. Molti cambiamenti dati da emissioni di gas serra passate e future sono irreversibili per secoli o millenni, soprattutto per quanto riguarda cambiamenti negli oceani, strati di ghiaccio e livello medio del mare (Masson-Delmotte et al., 2021).

## Effetti del cambiamento climatico in viticoltura

I cambiamenti climatici possono influenzare gli ecosistemi agrari in modo positivo o negativo a seconda della zona di coltivazione. La vite è una pianta molto sensibile alle alterazioni climatiche in quanto coltura pluriennale; pertanto, produttività, qualità e prezzo del vino ne risentono di diretta conseguenza (Gladstones, 2007; Merloni, 2017).

Le aree di diffusione della vite, così come quelle degli insetti, e le sue fasi fenologiche sono destinate a cambiare; ciò è dovuto soprattutto all'accrescimento di temperatura, aumento di probabilità degli eventi estremi e diminuzione delle precipitazioni. Tuttavia, i risultati attendibili sono complicati da prevedere perché l'agroecosistema è un sistema aperto.

L'innalzamento della temperatura ha portato a un anticipo della fenologia (fioritura e maturazione) e della vendemmia, e alla siccità tipica delle aree meridionali in Italia (spesso non può essere risolta con le irrigazioni dal momento che, in queste regioni, c'è carenza idrica). Inoltre, la distribuzione di parassiti e malattie sarà favorita dagli inverni miti.

L'aumento di CO<sub>2</sub>, emessa in atmosfera per effetto delle attività antropiche, provoca variazioni nella capacità di fotosintesi, nella capacità produttiva e nella traspirazione. I raggi UVB, che entrano più facilmente a causa dell'assottigliamento dello strato dell'ozono, provocano scottature su acini e foglie, con un impatto sulla composizione chimica dell'uva. Gli eventi estremi (grandine, ondate di calore e siccità, gelate) possono originare numerosi danni all'apparato vegetativo e riproduttivo (Santos et al., 2020).

Il risultato dei cambiamenti climatici influenza il *terroir* e la qualità del vino, con una possibile variazione delle aree di produzione storiche. La vite si sposterà a latitudini maggiori e in altitudine per far sì che il vitigno continui ad essere coltivato nel suo ambiente tipico. Nel suolo potrà esserci una variazione dei caratteri pedo-climatici e un aumento di temperatura che genererà effetti sull'attività microbiologica e sullo scioglimento del permafrost, con rilascio ulteriore di gas serra.

## Effetti della CO<sub>2</sub> e aumento di temperatura

La CO<sub>2</sub> nelle piante può aumentare il peso secco e anticipa la fenologia di circa 15-20 giorni (Santos et al., 2020); in particolare, nella vite aumenta la temperatura ottimale diurna e notturna, favorisce una maggiore tolleranza alle temperature estreme (che comporta anche una maggiore sanità biotica), maggiore tolleranza alla siccità e migliore gestione idrica. Dal momento che l'anidride carbonica può far produrre alla pianta più carboidrati di riserva (dati da una maggiore attività fotosintetica), si può dire che possa aumentare la resistenza al freddo (ma non ci sono prove a riguardo). Tale gas può, inoltre, provocare una diversa espressione nelle qualità organolettiche del vino e aumentare l'attività fotosintetica del 30% (Gladstones, 2007; Merloni, 2017).

La variazione di temperatura diurna e notturna, la nuvolosità e l'umidità relativa sono i parametri usati per la previsione degli effetti sulla vite; si è notato che nel XX secolo la variazione diurna di temperatura è diminuita, in particolar modo dal 1940 al 1990, con un aumento di nuvolosità. La previsione della variazione diurna è in continua tendenza alla diminuzione e le temperature saranno simili tra il dì e la notte e anche tra i giorni, i mesi e gli anni (Gladstones, 2007).

## Areali di distribuzione e *terroir*

In Nord Europa, le zone della Loira (Francia) e della Mosella (Germania) diventeranno località più favorevoli allo sviluppo della vite e compariranno nuove aree adatte alla produzione di Champagne in Francia. In Spagna, Portogallo e Italia vi saranno maggiori aridità e frequenti deficit idrici, e diminuiranno i raccolti; il vino di tali regioni subirà un aumento di grado alcolico e avrà minore acidità (Santos et al., 2020).

Secondo l'OIV "Il *terroir* vitivinicolo è un concetto che si riferisce a uno spazio nel quale si sviluppa una cultura collettiva delle interazioni tra un ambiente fisico e biologico identificabile, e le pratiche vitivinicole che vi sono applicate, che conferiscono caratteristiche distintive ai prodotti originari di questo spazio. Il *terroir* include caratteristiche specifiche del suolo, della topografia, del clima, del paesaggio e della biodiversità" (Castellucci, 2010). Il *terroir* è, dunque, definito da fattori precisi (geografia, topografia, mesoclima, suolo, geologia, nutrizione e presenza di acqua) e identifica la

tipicità, l'unicità e la qualità di un vino date dalle componenti locali della regione. I territori del Vecchio Mondo rimarranno gli stessi per la produzione più estesa, mentre se ne aggiungeranno altri dal Nuovo Mondo (Oceania, Sud Africa e Sud America), con la produzione di nuove tipologie di vino (*very best terroirs for quality*). Secondo Gladstones (2007) il *terroir* è un luogo ben definito ed è difficile che venga modificato in seguito alle trasformazioni del clima.

Gli studi sugli impatti futuri del cambiamento climatico sono supportati da modelli previsionali globali o regionali; individuare il *terroir* e le regioni vocate alla produzione vitivinicola si rivela fondamentale se accompagnato dai modelli climatici. Si ritiene che l'idoneità delle zone tipiche a vocazione viticola sia a rischio. Ad oggi la fascia territoriale di espansione della vite è compresa tra le latitudini 30-50 ° N e 30-40° S (Merloni, 2017; Palliotti et al., 2018). Come ci mostra la (Figura 4), le zone a vocazione viticola saranno spostate nel 2100 a latitudini maggiori, sia a nord che sud.

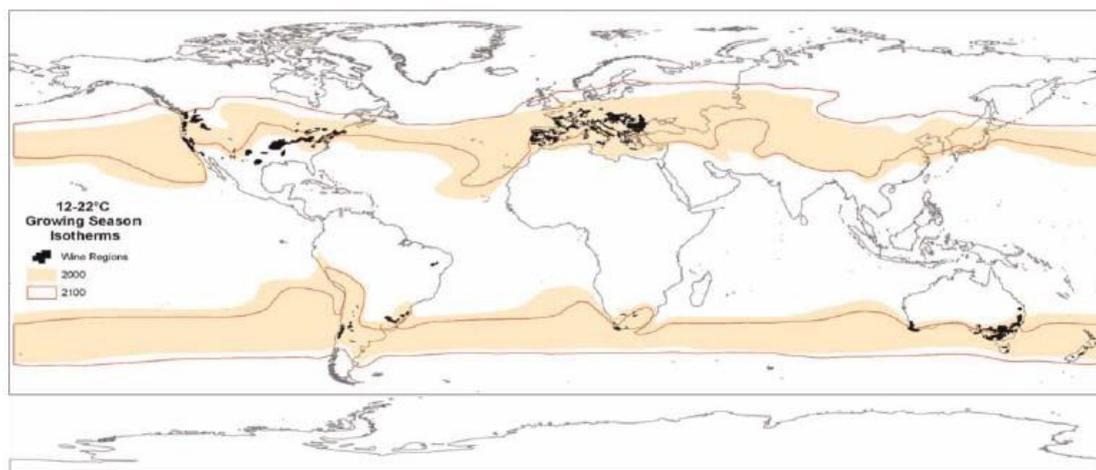


Figura 4 – Carta geografica delle temperature durante le stagioni di crescita delle aree vitivinicole, nell'anno 2000 e previste per il 2100. Modello basato sul Community Climate System Model (CCSM) (Merloni, 2017).

In Serbia si prevede che a fine XXI secolo le temperature si alzeranno, i *terroir* diventeranno aridi e vi sarà la perdita di numerose zone a vocazione viticola (Merloni, 2017). Tuttavia, la perdita della Corrente del Golfo raffredderebbe le zone di Bordeaux e della Spagna, costringendo i viticoltori a scegliere varietà resistenti a temperature minori. Lallanilla (2013) afferma che, nel 2050, le coste mediterranee di Italia, Francia e Grecia subiranno un riscaldamento tale da renderle inospitali per l'impianto della vite. L'IPCC,

nell'ultimo report, sostiene che l'innalzamento del mare può raggiungere fino a 5 m (Masson-Delmotte et al., 2021) e quindi, zone di prestigio nella viticoltura come coste di Portogallo, Francia (Bordeaux), Spagna, Nuova Zelanda e Australia saranno completamente inondate (Merloni, 2017).

### Impatti sulla componente fitoparassitaria e insorgenza di pandemie

È noto che la distribuzione delle patologie e dei parassiti sarà modificata, con impatti sulla produzione agricola in molte regioni. L'asincronia, data dall'incremento della temperatura, tra gli stadi resistenti di crescita della vite e la presenza di larve di *Lobesia botrana* (tignoletta della vite) porterà a degli scompensi sulla resa di produzione (Merloni, 2017). Dai modelli di simulazione del movimento degli insetti si deduce che alcune specie europee di falene si sposteranno verso nord; quindi, oltre ad un lento movimento degli areali della vite, anche quelli degli insetti e parassiti saranno mutati: le specie che sussistevano a latitudini minori potranno sopravvivere a latitudini più elevate.

Per quanto riguarda le malattie fungine, oidio e peronospora sono limitati dalle temperature elevate, ma l'insorgenza della *Plasmopara viticola* è alimentata da maggiori temperature nei mesi di Maggio e Giugno. Un clima generalmente più caldo, invece, può favorire altre malattie fungine quali marciume nero, oidio e botrite, agevolate soprattutto dalle più miti temperature notturne.

L'argomento dello sviluppo di malattie in relazione alla crisi climatica riguarda anche l'essere umano e il ravvicinato rapporto con gli animali. A tal proposito, in un ultimo rapporto pubblicato dal WWF (2020) sono state sottolineati i *link* tra cambiamento climatico e malattie emergenti. Il caso della SARS è un esempio di zoonosi, ovvero una malattia trasmessa da animali selvatici; si conta che il 60% delle malattie emergenti sia una zoonosi, tra cui la rabbia, la MERS, la febbre gialla, l'HIV, l'Ebola e la comune influenza (Guida, 2021).

L'avvicinamento tra uomo e specie animali (anche selvatici) comporta l'alterazione dell'habitat naturale, soprattutto negli allevamenti intensivi dove il bestiame è immunodepresso e con bassa diversità genetica. Ciò implica una facilitazione alla diffusione delle malattie: “[gli animali] sono costantemente a stretto contatto gli uni agli

altri, il che li rende vulnerabili all'emergere e al diffondersi di epidemie.” (Belardinelli, 2021). Quindi, le mutazioni climatiche, insieme al cambiamento degli habitat e della biodiversità, influenza le componenti abiotiche e biotiche degli ecosistemi; per di più, l'urbanizzazione e i commerci si rivelano percorsi facilitati per la diffusione di malattie.

### Impatti sulla produttività e qualità della produzione

La finestra di raccolta dei vini di qualità è ridotta a causa del cambiamento climatico; difatti, anche piccole variazioni di temperatura e umidità nell'aria comportano ripercussioni sul prodotto finale. A tal proposito, il riscaldamento globale porta ad una maggiore concentrazione di zuccheri e minore acidità, antociani e pirazine nella composizione dell'acino. Talvolta, l'attività enzimatica finalizzata all'ammorbidimento delle bucce può essere inattivata dal riscaldamento, influenzando la presenza di aromi e colore del vino. Una maggiore variabilità delle temperature diurne, inoltre, consente una maturazione e una colorazione migliori.

Jones et al. (2005) affermano che il cambio climatico agisce in modo diverso su varietà e regioni: nel sud dell'Europa sono previste siccità ed ondate di calore tali da non permettere una produzione di qualità e si dimostra che le zone vocate alla produzione di qualità hanno subito un aumento della temperatura stagionale di crescita pari a 1,26 °C nel periodo 1950-1999 (Merloni, 2017).

Nel lavoro di Hannah et al. (2013) si preannuncia che entro il 2050 le regioni di Bordeaux (Francia) e Toscana (Italia) possano subire un calo dell'85% nella produzione, così come California (-70%), Sud Africa (-55%) e Cile (-40%). Tuttavia, non è ancora chiaro l'insieme degli effetti sulla produttività e qualità del vino.

*Terroir*, qualità e tipicità del vino, dunque, saranno a rischio: un esempio arriva dagli *Ice Wines*, vini dolci di alta quota da dessert, dove l'uva è raccolta a temperature inferiori allo zero e subisce pigiatura ad acini ancora congelati.

### Impatti sul mercato

Il clima influisce sui costi, sia di uva che di vino. Un'attenta analisi sui prezzi dei vini pregiati di Bordeaux, condotta da Ashenfelter (2010), ha concluso che l'annata con i

prezzi più alti si caratterizza per una stagione di crescita calda, con caldo asciutto a fine estate e l'inverno precedente umido. I risultati di un modello di previsione spiegano che da quattro variabili (epoca di vendemmia, temperatura media di crescita, ammontare della pioggia nei periodi prima della vendemmia e dell'inverno precedente) dipende circa l'80% della variazione del prezzo medio del vino bordolese per annata (Merloni, 2017). È da sottolineare che la zona francese di Bordeaux è mutevole, di anno in anno, e avverte particolarmente della variazione climatica. Da questo lavoro è possibile dedurre che clima e variazioni di temperatura influenzano sensibilmente i valori del mercato nel settore vitivinicolo.

Il Nuovo Mondo è sempre più apprezzato nel commercio internazionale in quanto crea vini di alto livello ma ad un prezzo conveniente. Vi è una specializzazione regionale nello stile del vino, la quale aumenta la diversità nel mercato internazionale (Gladstones, 2007); un esempio è il Sauvignon Blanc prodotto in Nuova Zelanda, caratterizzato da aromi freschi e intensi che differisce da quello europeo perché vinificato in acciaio. Il clima nelle zone vitivinicole dell'emisfero sud, ad ogni modo, risulta adeguato alla coltivazione della vite; le terre sono estese e non costose e inoltre, per produrre vini di qualità, si devono ricercare vitigni idonei al territorio di coltivazione.

Il Vecchio Mondo si mette in gioco nel commercio con il Nuovo Mondo, mantenendo i *terroir* e i vini prestigiosi (Gladstones, 2007). Il mercato sarà proiettato nella creazione di vini di qualità superiore e maggiore diversificazione delle tipologie di vino grazie all'introduzione di nuovi *terroir* che si adatteranno e miglioreranno la produzione con tecniche agronomiche quali, ad esempio, un'irrigazione mirata. I livelli di qualità del mercato nel settore vinicolo sono complementari e non competitivi, in quanto il consumatore, dopo aver gradito un vino a basso prezzo ma di qualità, è incoraggiato a cercare il meglio. Produzione sostenibile, qualità e affidabilità lungo la filiera aiutano a stabilire il vino come prodotto di preferenza nel mercato. Il XXI secolo diventerà l'era d'oro del vino (Gladstones, 2007).

Gli effetti di maggiore rilevanza sulla pianta di vite sono, infine, quelli che troviamo nel prodotto finale: l'anidride carbonica e la temperatura influenzano le qualità

organolettiche dell'uva, le quali, di conseguenza, modificheranno la qualità del vino. Il *terroir*, fondamentale per identità e tipicità del prodotto, è messo a repentaglio dall'innalzamento del livello degli oceani, dai cambiamenti nella composizione del suolo e dal riscaldamento globale, il quale a sua volta comporta una diversa distribuzione di piante, malattie e fitofagi. I settori economico e viticolo, dunque, risentiranno maggiormente delle variazioni climatiche. In vigneto bisognerà avvicinarsi sempre di più a tecniche sostenibili, per ridurre le emissioni e adottare strategie di adattamento. Nonostante lo spostamento degli areali, la viticoltura potrà prendere piede anche nel Nuovo Mondo, adattandosi e creando nuove tipologie di prodotti, contribuendo a immettere vino nel mercato mondiale.

## Strategie di adattamento e di mitigazione in viticoltura

Per ridurre i rischi dei cambiamenti del clima si possono utilizzare strategie di adattamento, a diversi livelli spaziali e temporali. Si tratta di aggiustamenti nei sistemi ecologici, sociali, economici in risposta alle mutazioni climatiche.

Gli adattamenti a breve e medio termine comprendono interventi su pratiche agronomiche, mentre quelli a lungo termine un cambio delle strutture al sistema produttivo. L'adeguamento dell'azienda dipende da fattori economici, dalla tecnologia, dalle competenze e conoscenze del viticoltore e dall'accesso alle infrastrutture. Anche se il settore vitivinicolo è strettamente legato alle tradizioni, esso risulta dinamico e tecnologicamente avanzato nelle strategie per l'adattamento e la mitigazione.

### Strategie di adattamento

Tra le strategie a breve termine troviamo la gestione del suolo e della chioma, l'irrigazione deficitaria e sovrachioma, la lotta integrata e l'uso del caolino.

L'uso di compost, pacciamatura, *cover crops* e la conformazione della chioma possono aumentare l'acqua trattenuta nel suolo dal momento che riducono l'evapotraspirazione. Tuttavia, la gestione del suolo può diminuire la lisciviazione dei minerali dal terreno data da piovosità eccessive. La potatura mirata può portare a ritardo della maturazione dell'uva e il diradamento, inoltre, consente una diminuzione della probabilità nello sviluppo di marciumi. L'irrigazione deficitaria (*deficit irrigation* - DI) è spesso usata con il metodo della percentuale di acqua definita dall'aiuto di indicatori, controller e sistemi di ottimizzazione (*smart irrigation*); consente di aumentare la qualità della composizione dell'acino ed è *water-saving*, perché usa solo le quantità richieste dalla pianta; solitamente l'irrigazione goccia a goccia è il metodo più efficiente per il risparmio idrico. L'irrigazione sovrachioma consente di prevenire le gelate primaverili che possono verificarsi con maggiore frequenza in caso di fioritura anticipata (soprattutto in Francia). Inoltre, per ridurre gli sprechi di acqua si può utilizzare il sistema di allevamento a Guyot. Per proteggere frutti e foglie di vite contro scottature da raggi UV e dal calore estremo (stress termico) si usano prodotti che creano un sottile strato di particelle inerti e

riflettenti; in alternativa si possono usare le reti oscuranti. Le sostanze chimiche utilizzate sono carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), potassio silicato ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ) e caolino ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ); quest'ultimo è il più comune in viticoltura. Il caolino migliora le attività fotosintetiche e la relazione con l'acqua e può aumentare la capacità antiossidante nelle bacche e l'ammontare di metaboliti secondari come fenoli, flavonoli e antocianine (Santos et al., 2020).

Altre soluzioni a breve termine possono essere la raccolta notturna dei grappoli, l'uso di modelli previsionali per stabilire, ed eventualmente anticipare, le date di vendemmia e la concimazione azotata per migliorare il terreno. L'umidità nel suolo, infatti, aumenta la disponibilità idrica ma compromette la mineralizzazione della sostanza organica; quindi, comporta una minore presenza di azoto negli orizzonti superficiali (Merloni, 2017).

Un'alternativa, invece, consiste nel cambio di tipologia di vino da bianchi a rossi; oppure scegliere genotipi tardivi, che maturino in autunno, ovvero varietà che maturino prima del verificarsi del picco delle temperature estive (prestando attenzione alle gelate primaverili) (Bigard et al., 2018). Tecniche come l'uso di frangivento in caso di forti venti e il ricorso all'irrigazione per ridurre il deficit idrico sono strategie di adattamento già note in viticoltura, ma altrettanto utili nell'assestamento ai mutamenti del clima.

Tra le strategie a medio e lungo termine troviamo utilizzo di portinnesti maggiormente resistenti alla siccità e cambiamenti all'impianto (nell'orientamento dei filari e nella forma di allevamento). Per ritardare la maturazione si può attuare una potatura minimale, o, in alternativa, anticipare la raccolta. Per diminuire gli zuccheri nei frutti si può cambiare il rapporto foglie/peso del grappolo, modificare la distanza interfilare e l'altezza delle piante nel vigneto affinché venga ridotta l'incidenza dei raggi UV nell'area fertile (Merloni, 2017; Santos et al., 2020). Per le sistemazioni a lungo termine si può modificare l'ubicazione delle viti e selezionare varietà o portinnesti più adatti a quel territorio. Inoltre, possono essere creati incroci genetici per creare varietà (e portinnesti) resistenti alle nuove condizioni climatiche; in alternativa si possono usare portinnesti che diano resistenza a stress biotici e abiotici (tra cui stress idrico), nonché unica possibile soluzione per mantenere la tipicità.

## Strategie di mitigazione

In viticoltura le maggiori emissioni di CO<sub>2</sub> derivano dall'uso di macchine agricole e fertilizzanti, dalla deforestazione, dalla messa a coltura di nuovi vigneti e dalla perdita di sostanza organica da suolo (dovuta alle lavorazioni). Un'attenta gestione idrica, piuttosto che l'uso di pratiche di gestione del suolo più conservative, la riduzione degli interventi di lavorazione del suolo, un impiego moderato di fertilizzanti e l'utilizzo di inerbimenti al posto della concimazione azotata sono possibili soluzioni che limitano l'impatto del settore vitivinicolo sul clima e riducono le emissioni di GHG (Palliotti et al., 2018).

Si tratta di pratiche semplici, che possono essere applicate tutti i giorni e che se viste nel complesso possono portare ad un sensibile cambiamento nel futuro del clima. Inoltre, essendo la vite una pianta che ha capacità di sequestrare la CO<sub>2</sub> dall'atmosfera, può rivestire un importante ruolo di mitigazione nel riscaldamento globale; perciò, dovrebbe essere riconosciuto, insieme alle foreste, come un valore aggiunto di tipo ambientale ed ecologico.

## Miglioramento genetico: *genome editing* per ridurre stress da calore e carenza idrica

Dopo aver affermato le difficoltà del cambiamento climatico nel settore vitivinicolo e visto le strategie di adattamento e mitigazione da mettere in pratica in vigneto, ci concentriamo su eventuali soluzioni. Una possibile risposta alle modificazioni del *terroir*, alla siccità e alla diffusione facilitata di oidio e fillossera dovuti al mutamento climatico, è l'uso di biotecnologie applicate alla viticoltura. Un vantaggio nell'uso del *genome editing* (in Italia definito Tecnologia di Evoluzione Assistita) è la possibilità di variare solo un carattere di interesse, lasciando pressoché invariato il background genetico della vite e continuando ad avere tipicità ed unicità delle cultivar regionali. Inoltre, consentirà un uso limitato dei fungicidi, mantenendo uno standard qualitativo alto nella produzione di vini.

Benché la vite richieda tempi lunghi nei processi di incrocio, è stato possibile studiarla e lavorare sulla genomica. In seguito al sequenziamento del genoma di *Vitis Vinifera* per le varietà Pinot nero e PN40024 (nel 2007), è stato possibile confrontare altre varietà e ottenere facilmente informazioni per la selezione di nuovi incroci per le cultivar del futuro.

I marcatori molecolari hanno permesso la ricostruzione del *pedigree* della vite e hanno fornito informazioni sul grado di diversità genetica presente nella vite; grazie a questi è stato possibile comprendere le linee d'incrocio presenti che hanno gettato le basi del miglioramento genetico per la resistenza in Europa. La selezione assistita da marcatori (*Marker Assisted Selection* - MAS) sfrutta la stretta associazione tra un carattere fenotipico (per esempio: può essere una resistenza a stress biotico o una qualità dell'acino) e i marcatori presenti sullo stesso cromosoma. Dunque, nella MAS il marcatore è situato vicino al carattere di interesse (sullo stesso cromosoma); può capitare che i geni si trovino all'interno del gene di interesse e pertanto il marcatore seguirà il gene anche negli eventi di crossing-over (Pallioti et al., 2018).

Per la resistenza all'oidio è stato individuato un gene (REN1) che ha permesso l'avanzamento nella ricerca di incroci resistenti; è avvenuta poi anche la scoperta del locus Rpv3 per la resistenza alla peronospora (Velasco et al., 2021).

La trasformazione genetica è una tecnica che consente il trasferimento, l'inserimento e l'integrazione di uno o più geni da un organismo ad un altro e porta all'ottenimento di organismi geneticamente modificati (OGM). Il gene trasferito può provenire da altre specie (gene eterologo, trans-genesi) o dalla stessa (gene omologo, cis-genesi).

Esistono due metodi per trasferire i geni:

- a) Con *Agrobacterium tumefaciens*: una porzione di DNA è trasferita attraverso il meccanismo di infezione del batterio. Il gene è integrato in modo casuale ma stabile.
- b) Metodo balistico: bombardamento degli espianti per far penetrare il DNA nelle cellule.

La trasformazione genetica di una pianta vite avviene nei seguenti passaggi: trasformazione (con metodo del batterio oppure balistico), rigenerazione (le cellule trasformate vengono stimolate con citochinine; daranno origine ad un germoglio OGM) e selezione (attraverso l'inserimento di un marcatore insieme alla sequenza genica da trasferire). Per la selezione era usato il gene resistente all'antibiotico kanamicina; ad oggi si usa un colorante (isolato dal vitigno Merlot) per differenziare i germogli trasformati. Dopo questi stadi si procede alla crescita e selezione dei germogli.

Le direttive Comunitarie (Direttiva EU 2001/18) ostacolano la sperimentazione e il commercio degli OGM; di fatto l'opinione pubblica fa fatica ad accettare un prodotto geneticamente modificato (trans-genesi) con geni appartenenti a donatori lontani dal punto di vista evolutivo. Le tecniche della cis-genesi dovrebbero incontrare meno ostacoli nella commercializzazione; tuttavia, si è scoperto che *Muscadinia* è specie recalcitrante<sup>2</sup> e quindi i geni sono difficili da trasferire.

---

<sup>2</sup> Le specie recalcitranti non sono capaci di produrre con facilità embrioni somatici (<https://www.creafuturo.eu/it/3256/>).

La correzione mirata del genoma (*Targeted genome editing* - TGE) è strumento di miglioramento genetico che funziona attraverso una mutazione mirata su una specifica zona del DNA, con l'aiuto di nucleasi sito specifiche (SSN), le quali intervengono nel genoma tagliandolo in una posizione precisa. Il metodo *Clustered Regulatory Interspaced Short Palindromic Repeat-associated protein 9* (CRISPR/Cas9) è stato individuato nel 1987 prima in Eubatteri e poi Archea e dal 2013 è utilizzato nel *genome editing*; nella tecnica la proteina Cas (la nucleasi) individua la posizione nel DNA da rompere attraverso una sequenza di nucleotidi, procede al taglio e alla successiva riparazione che crea così una mutazione o un silenziamento della precisa catena di DNA.

Nel progetto VITECH (Velasco et al., 2021) sono state affrontate problematiche relative alle resistenze agli stress abiotici e biotici, tra cui resistenza della pianta a stress idrico e oidio e peronospora (con approcci cis-genici e di *genome editing*). I geni di resistenza della peronospora sono presenti solo nelle specie americane e asiatiche, che come già ribadito, sono recalcitranti; tuttavia, è stato localizzato il gene Rpv3 che dà resistenza alla *Plasmopara viticola*, con cui sono stati approfonditi numerosi studi.

I geni di *V. vinifera* per la suscettibilità all'oidio vengono silenziati con le proteine Cas, che fungono da forbici molecolari; analogamente anche i geni che danno stress idrico verranno silenziati con la stessa procedura. Il silenziamento consente una maggiore tolleranza per la pianta di vite. Nel caso dello stress idrico viene verificato se la pianta continua ad avere tutte le sue funzioni nell'apparato di trasporto dell'acqua e dei soluti dal terreno. Da qui si creeranno piante transgeniche, per le quali sono in corso test su 3 geni (uno sovraespresso e due silenziati). I portainnesti selezionati sono stati scelti tra quelli che maggiormente garantivano produzione di embrioni somatici.

In alcuni studi condotti da Gambetta et al. (2020) e Gomès et al. (2021), è stato approfondito il funzionamento di alcuni meccanismi effettuati dalla pianta in risposta a stimoli biotici e abiotici. Tra questi vengono analizzati lo splicing alternativo (AS), la regolazione genica con miRNA. L'utilizzo di marcatori molecolari in genetica e genomica ha permesso di individuare alcuni loci per creare nuove varietà adattabili al mutamento del clima.

## *Splicing* alternativo

Lo *splicing* è il meccanismo di eliminazione degli introni (i tratti non codificanti del DNA) dal pre-mRNA. Lo *splicing* alternativo (AS), invece, è un meccanismo che permette di ottenere diversi mRNA (e quindi diverse proteine) a partire dallo stesso pre-mRNA; dunque, consente di amplificare il potenziale codificante del genoma eucariotico (Sadava et al., 2016).

Nella vite, lo *splicing* alternativo è indotto da condizioni di luce elevate, temperature estreme e stress idrico e quindi, si innesca quando la pianta è in condizioni ambientali difficili. Una conoscenza approfondita della regolazione dei tratti fenologici dell'AS permette una selezione di varietà resilienti al clima. In particolare, i fattori che danno tolleranza al calore (*Heat Shock transcription Factors* - HSF) sono sotto il controllo del fattore di trascrizione chiamato *DEHYDRATION-RESPONSIVE ELEMENT BINDING 2* (DREB2), la cui totalità è tradotta solo in condizioni di stress. Alcuni studi convergono nel dire che l'AS può modulare anche l'espressione dei geni per la produzione di ABA, comportando anche modifiche nella chiusura e apertura degli stomi se le foglie della vite sono colpite da forte luce. È stato verificato anche in piante di riso che l'AS induce adattabilità al cambiamento climatico (Gomès et al., 2021).

Per identificare i geni attivi nell'alleviamento dello stress della vite si devono ricercare i modelli AS genotipo-dipendenti in condizioni di stress controllato. Lo studio sulle isoforme coinvolte nei tratti fenologici e nella risposta allo stress contribuirà a migliorare l'adattabilità per la vite agli stress abiotici.

## MicroRNA

Il DNA non codificante può dare origine a RNA non codificante, il quale a sua volta può portare alla formazione di microRNA (miRNA) e piccoli RNA interferenti (*short interfering RNA* - siRNA). I miRNA sono sequenze di RNA lunghi circa 20 nucleotidi che si appaiano alla sequenza complementare dell'mRNA, inibendone la traduzione. I siRNA provengono da DNA o RNA esogeno e spesso sono prodotti durante le infezioni virali; possono dare silenziamento genico in laboratorio (Sadava et al., 2016).

La regolazione dell'espressione genica nella pianta della vite, attraverso il controllo nell'espressione di miRNA, può essere un'altra soluzione agli stress abiotici; infatti, la regolazione di numerosi miRNA si attiva anche conseguentemente al verificarsi di stress idrico e infezioni virali. Inoltre, i microRNA partecipano alla regolazione ormonale di citochinine e gibberelline. Dagli studi si è notato che i miRNA controllano anche il metabolismo secondario negli acini. Infine, gli RNA lunghi non codificanti (lncRNA) possono avere ruolo nel processo di vernalizzazione, nella maturazione dei frutti e in risposta a infezioni fungine.

Al momento non ci sono conoscenze specifiche su come controllare l'espressione genica nel contesto dell'adattamento della vite ai cambiamenti climatici. L'uso di RNA potrebbe sostituirsi alla creazione di OGM.

### Marcatori molecolari

Come già adottato in paesi caldi quali Sud della Spagna, Cile e Australia, i metodi di adattamento al cambiamento climatico sono l'uso combinato di varietà, portinnesto e sistema di allevamento. Per prevenire gli impatti della siccità in viticoltura sono necessarie cultivar (o portinnesti) che usino efficacemente l'acqua e reggano la maturazione anche in caso di molto stress idrico. Tali varietà, per essere ottimali, devono mantenere un'alta attività fotosintetica durante i periodi di stress termico e ondate di calore. Infatti, le alte temperature possono aumentare la concentrazione di acido malico e diminuire il colore e i precursori di aromi (Gomès et al., 2021).

Per creare nuove varietà adattabili al mutamento del clima, oltre all'uso di cloni resistenti alle alte temperature già esistenti e valutare l'uso di cultivar in altre regioni diverse da quelle di origine, si può usare la tecnica del *breeding* (incrocio) con marcatori molecolari. In questo caso i loci che danno il fenotipo ricercato sono segnati dai marcatori.

Per la creazione di portinnesti tolleranti alla siccità non sono ancora stati identificati i geni responsabili per questi tratti; tuttavia, i marcatori molecolari possono aiutare nella ricerca.

In conclusione, quella delle biotecnologie si rivela una strada realizzabile, nonché unica soluzione per il mantenimento delle diverse varietà affermate in viticoltura. Le nuove tecnologie consentiranno l'uso limitato di prodotti fitosanitari, mentre l'impiego di portinnesti tolleranti alla siccità aumenterà la resilienza del sistema vite in vista del cambio del clima, permetterà una viticoltura ecosostenibile ed eviterà lo spreco delle risorse idriche. Ciò nonostante, le ricerche sugli RNA, sullo *splicing* alternativo e sui marcatori molecolari sono incomplete e andranno approfondite ulteriormente (Gomès et al., 2021).

Per risultati più efficienti bisogna applicare gli stress in condizioni ambientali plausibili, combinate alla crescita e che riproducano la realtà del vigneto. Inoltre, la moltitudine di dati delle sequenze genomiche dev'essere organizzata per trovare un corpus di conoscenze in grado di unire accomunare risposte alle variabili ambientali e variabilità genetica. Questa conoscenza può aiutare a costruire strategie di adattamento sia per la genetica sia per le tecniche di gestione ed allevamento del vigneto. La ricerca futura dovrà focalizzare l'attenzione, dunque, su una completa inclusione di tutti gli stress (tra cui ondate di calore, radiazioni, fattori di stress biotici) che potranno verificarsi sul campo (Gambetta et al., 2020; Gomès et al., 2021).

Infine, risulta complicata l'introduzione nel mercato di piante modificate con l'impiego di *genome editing* in quanto ritenute erroneamente OGM. In Italia si ritiene soprattutto che un organismo tale possa variare il prodotto *made in Italy*, scetticismo comune anche tra i viticoltori di altri Paesi contrari all'adozione di cultivar di altre regioni perché temono di perdere la denominazione.

## Conclusioni

Il XXI secolo è stato segnato da evidenti cambiamenti del clima. L'unica soluzione ai mutamenti, per la comunità scientifica, è un'azione immediata, prima che la semplice variazione si trasformi in una crisi climatica o, peggio ancora, in un'estinzione di massa. Le previsioni del clima (effettuate con modelli statistici) sono incerte, ma è sicuro che se Stati e governi prenderanno una posizione concreta il danno potrà essere limitato. Infatti, si ritiene che se le emissioni di CO<sub>2</sub> verranno azzerate entro il 2050 l'aumento di temperatura raggiungerà il massimo di 1,5 °C. Un fenomeno che influisce sensibilmente sulle previsioni è il *climate lag*, ovvero un ritardo negli effetti dell'immissione di GHG in atmosfera, che farà protrarre l'effetto serra e, quindi, il riscaldamento dell'atmosfera.

Manca ancora un quadro completo sulle conoscenze degli effetti del cambiamento climatico sulla vite; la viticoltura è un settore importante a livello di commercio mondiale ed è messa a rischio da questi fattori di mutamento. Per diminuire gli impatti del surriscaldamento esistono pratiche di mitigazione che si concentrano nella limitazione di sprechi (specialmente idrici), lavorazioni del terreno e uso di macchinari che aumentano le emissioni CO<sub>2</sub> in atmosfera. Se alla soluzione appena citata aggiungiamo una viticoltura che utilizzi la lotta integrata o il biologico possiamo avvicinarci ad una produzione sostenibile, che rispetti l'ambiente e riduca le emissioni di gas serra. Inoltre, se l'approccio sostenibile verrà applicato dalla produzione alla vendita, in tutta la filiera, aumenterà la differenziazione di prodotti nel mercato.

Il cambio climatico è percepito come una minaccia ma l'adattamento di misure tempestive che diminuiscano la suscettibilità del settore e l'uso di misure efficaci in vigneto contribuiranno ad un ambiente migliore allo sviluppo e a sostenere le regioni storiche esistenti (Santos et al., 2020). Alcune delle strategie a breve termine sono già state messe in pratica negli anni. La sostituzione di portinnesti più adatti ai nuovi pedoclimi, il riadattamento del sistema di allevamento e la riallocazione delle viti sono alcune delle soluzioni a lungo termine che potranno essere messe in atto in futuro. Tra queste ultime trovano spazio anche le biotecnologie, con lo studio delle risposte agli stress (tra i quali termici e idrici) e la creazione di individui resistenti a virus e patologie.

La resistenza delle viti a malattie fungine e attacchi di altri microrganismi potranno diminuire l'utilizzo di fitofarmaci in vigneto.

Dal momento che la viticoltura riveste un ruolo fondamentale (storico, culturale, religioso ed economico) in molti Paesi, è fondamentale avere risposte chiare, aumentare efficienza e resilienza delle pratiche viticole e guidare lo sviluppo di nuove varietà (Gambetta et al., 2020). Ad ogni modo, però, ci sono ancora molte diffidenze nell'inserimento delle nuove varietà in viticoltura e ciò crea un ostacolo alla diffusione delle nuove cultivar.

La comunicazione tra scienza, parti interessate e consumatore è fondamentale e aiuta a migliorare le conoscenze e l'accettazione dei cambiamenti nel mercato vitivinicolo (Santos et al., 2020).

## Bibliografia

- Bigard, A., Berhe, D. T., Maoddi, E., Sire, Y., Boursiquot, J. M., Ojeda, H., Péros, J. P., Doligez, A., Romieu, C., & Torregrosa, L. (2018). *Vitis vinifera* L. fruit diversity to breed varieties anticipating climate changes. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00455>
- Castellucci, L. (2010). *Risoluzione OIV*.
- Gambetta, G. A., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., & Castellarin, S. D. (2020). The physiology of drought stress in grapevine: Towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 71(16), 4658–4676. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa245>
- Gladstones, J. (2007). *Wine, Terroir and Climate Change* (Adelaide : Wakefield Press. 2007, Ed.).
- Gomès, É., Maillot, P., & Duchêne, É. (2021). Molecular Tools for Adapting Viticulture to Climate Change. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.633846>
- Guida, C. (2021). *I rischi naturali del cambiamento climatico nelle città del Mediterraneo* (FedOA - Federico II University Press, Ed.).
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Matthews, J. B. R., Berger, S., Huang, M., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B., Lonnoy, E., Maycock, T. K., Waterfield, T., Leitzell, K., & Caud, N. (2021). *Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited by*. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- Merloni, E. (2017). *LA CAPACITÀ DI ADATTAMENTO DELLE IMPRESE VITIVINICOLE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI: IL CASO DEL SANGIOVESE IN EMILIA-ROMAGNA*.
- Palliotti, A., Poni, S., & Silvestroni, O. (2018). *Manuale di Viticoltura* (Edagricole-New Business Media, Ed.).

- Sadava, D., Hillis, D. M., Ranaldi, F., Berenbaum, M. R., & Craig Heller, H. (2016). *Il carbonio, gli enzimi, il DNA. Chimica organica e dei materiali, biochimica e biotecnologie*. Zanichelli editore.
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L. T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M., & Schultz, H. R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
- Vidotto F, Masin R, Pannacci E, & Mariani L. (2013). *EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA DINAMICA EVOLUTIVA DELLE MALERBE*. <http://www.cru.uea.ac.uk/>

## Sitografia

<https://ilbolive.unipd.it/it/news/allevamenti-intensivi-aumentano-rischio-futuri>

<https://www.cmcc.it/it/report-venezia>

<https://www.creatfuturo.eu/it/3256/>