



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

APPLICAZIONE DI TECNICHE
COLTURALI CONTRO IL CAMBIAMENTO
CLIMATICO: EFFETTI SUL
COMPORAMENTO FISILOGICO E
QUALITATIVO DEL VERDICCHIO

APPLICATION OF CULTIVATION
TECHNIQUES AGAINST CLIMATE CHANGE:
EFFECTS ON THE PHYSIOLOGICAL AND
QUALITATIVE BEHAVIOR OF VERDICCHIO

TIPO TESI: Sperimentale

Studente:
GIOVANNI POMILI

Relatore:
DOTT. VANIA LANARI

Correlatore:
DOTT. LUCA PALLOTTI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

La dedica va a tutti coloro che sono
contenti per il raggiungimento
di questo traguardo.

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	2
ELENCO DELLE FIGURE	4
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	6
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	8
I. Il cambiamento climatico: le cause.....	9
II. Il cambiamento climatico: gli indicatori climatici	14
III. La variazione dei dati climatici in Italia.....	19
IV. Gli effetti del cambiamento climatico sulla viticoltura.....	26
V. Strategie innovative a lungo termine per mitigare gli effetti del cambiamento climatico in viticoltura.....	29
VI. Strategie innovative a breve termine per mitigare gli effetti del cambiamento climatico in viticoltura.....	30
VII. Le reti ombreggianti per contrastare gli effetti del cambiamento climatico in viticoltura.....	33
VIII. Il caolino per contrastare gli effetti del cambiamento climatico in viticoltura.....	35
CAPITOLO 1 MATERIALI E METODI	37
1.1 Il vigneto	37
1.2 Scopo, tecniche e schema sperimentale	38
1.3 Rilievi effettuati	44
1.4 Dati meteorologici	47
1.4.1 Temperature.....	47
1.4.2 Precipitazioni	49
CAPITOLO 2 RISULTATI E DISCUSSIONE	51
2.1 Fotosintesi e conduttanza stomatica.....	51
2.2 Solidi solubili totali.....	55
2.3 pH.....	58
2.4 Acidità titolabile.....	61
2.5 Rese.....	64
CONCLUSIONI	69
BIBLIOGRAFIA	71

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella III.1. Variazione della temperatura media nel lungo periodo in Italia	20
Tabella III.2. Variazione della temperatura media mensile da aprile a ottobre, tra il periodo 1961-1990 e il periodo 1991-2020, in Italia	21
Tabella 1.4.1.1. Indice di Amerine-Winkler (Gradi Giorno) cumulati mensilmente e totali, nell'anno 2022	48
Tabella 1.4.1.2. Notti tropicali (N.T.) nell'anno 2022, stazione di Moie	49
Tabella 1.4.1.3. Giorni estivi (G.E.) nell'anno 2022, stazione di Moie	49
Tabella 1.4.2.1. Distribuzione e intensità degli eventi piovosi dal 1° aprile al 29 agosto 2022	50
Tabella 2.1.1. Dati e tasso di variazione della fotosintesi netta di viti di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo	52
Tabella 2.1.2. Dati e tasso di variazione della conduttanza stomatica di viti di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo	53
Tabella 2.1.3. Tasso di variazione della fotosintesi netta nelle viti trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate	54
Tabella 2.1.4. Tasso di variazione della conduttanza stomatica nelle viti trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate	54
Tabella 2.2.1. Dati, variazione in termini di concentrazione zuccherina (°Brix) e tasso di variazione nelle uve di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo, e livello di significatività osservato	56
Tabella 2.2.2. Temperatura media, media delle temperature massime, gradi giorno e precipitazioni cumulate tra i campionamenti	57
Tabella 2.2.3. Differenze in termini di concentrazione zuccherina (°Brix) e tasso di variazione delle uve di Verdicchio trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate, e livello di significatività osservato	57
Tabella 2.3.1. Dati, differenze di pH e tasso di variazione nelle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino, e livello di significatività osservato	59

Tabella 2.3.2. Differenze in termini di pH e tasso di variazione delle uve di Verdicchio trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate, e livello di significatività osservato	60
Tabella 2.4.1. Dati, variazioni dell'acidità titolabile (g l^{-1}) e tasso di variazione delle uve di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo, e livello di significatività osservato	62
Tabella 2.4.2. Differenze in termini di acidità titolabile e tasso di variazione delle uve di Verdicchio trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate, e livello di significatività osservato	63
Tabella 2.5.1. Componenti produttive delle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino;ono riportate anche le differenze, il tasso di variazione e livello di significatività osservato. (PMG: peso medio dei grappoli)	64
Tabella 2.5.2. Confronto del peso medio dei grappoli (PMG) di viti di Verdicchio nella tesi caolino rispetto a rete	64
Tabella 2.5.3. Confronto del peso medio degli acini (PMA) di viti di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo, e livello di significatività osservato	67
Tabella 2.5.4. Confronto del peso medio degli acini (PMA) di viti di Verdicchio nella tesi caolino rispetto a rete, e livello di significatività osservato	68

ELENCO DELLE FIGURE

Figura I.1. Forzante radiativo solare e vulcanico negli ultimi 2500 anni	9
Figura I.2. Andamento della concentrazione di CO ₂ atmosferica dal 1700	10
Figura I.3. Andamento della concentrazione atmosferica di CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ e alocarburi dal 1975	11
Figura I.4. Variazione del forzante radiativo di CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ e alocarburi dal 1979	11
Figura I.5. Variazione del forzante radiativo terrestre dal 1750 al 2019	13
Figura II.1. Anomalia termica decennale, con media di riferimento 1850-1900	11
Figura II.2. Anomalia termica con media di riferimento 1961-1990	12
Figura II.3. Anomalia termica nell'Emisfero Nord, con media di riferimento 1961-1990	12
Figura II.4. Anomalia termica nell'Emisfero Sud, con media di riferimento 1961-1990	12
Figura II.5. Anomalia termica mensile degli anni 2016, 2019, 2020 e 2022, con media di riferimento 1961-1990	13
Figura II.6. Estensione della copertura nevosa nel mese di aprile nell'Emisfero Nord	14
Figura II.7. Variazione della frazione assorbita della radiazione fotosinteticamente attiva	15
Figura III.1. Anomalia termica con periodo climatologico di riferimento 1961-1990; confronto tra quella italiana e quella globale	20
Figura III.2. Temperatura media mensile da aprile a ottobre, nei periodi climatologici 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990, 1991-2020, in Italia	21
Figura III.3. Anomalia giorni con gelo in Italia, con media di riferimento 1961-1990	22
Figura III.4. Anomalia giorni estivi in Italia, con media di riferimento 1961-1990	22
Figura III.5. Anomalia notti tropicali in Italia, con media di riferimento 1961-1990	23
Figura III.6. Anomalia onde di calore in Italia, con media di riferimento 1961-1990	23
Figura III.7. andamento delle anomalie delle precipitazioni annuali in Italia dal 1800 al 2016, con media di riferimento 1971-2000	24
Figura III.8. SPI a 3 mesi dal 1952 al 2019	25
Figura III.9. SPI a 12 mesi, dal 1952 al 2019	25

Figura 1.1.1. Vigneto in cui si è svolta la sperimentazione	37
Figura 1.2.1. Filare di Verdicchio protetto da rete ombreggiante	35
Figura 1.2.2. Viti di Verdicchio protette da rete ombreggiante	36
Figura 1.2.3. Grappolo di Verdicchio protetto da rete ombreggiante	37
Figura 1.2.4. Filare di Verdicchio trattato con Caolino (foto del 23 agosto)	38
Figura 1.2.5. Viti di Verdicchio trattate con caolino (foto del 23 agosto)	39
Figura 1.2.6. Grappoli di Verdicchio trattati con caolino (foto del 23 agosto)	40
Figura 1.3.1. Analisi fotosintesi e conduttanza stomatica su viti controllo (A), con applicazione delle reti (B) e trattate con caolino (C)	42
Figura 1.4.1.1. Temperature mensili minime, medie e massime registrate dalla stazione di Moie (sensore 3022) nell'anno 2022	45
Figura 1.4.2.1. Precipitazioni cumulate mensilmente nel 2022 (stazione di Moie, codice sensore 1263)	47
Figura 2.1.1. Andamento della fotosintesi netta di viti di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino	51
Figura 2.2.1. Confronto delle curve di maturazione dei solidi solubili totali nelle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino	56
Figura 2.3.1. Confronto delle curve di maturazione del pH delle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino	55
Figura 2.4.1. Confronto delle curve di maturazione dell'acidità titolabile delle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino	62
Figura 2.5.1. Grappoli delle viti di Verdicchio nelle tesi controllo (in alto) e rete (in basso)	66
Figura 2.5.2. Grappoli delle viti di Verdicchio nelle tesi controllo (in alto) e caolino (in basso)	67
Figura 2.5.3. Andamento dell'accrescimento in peso degli acini di viti di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino	68

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

Δ	Differenza.
$^{\circ}\text{C}$	Gradi Celsius.
μmol	Micromole.
AR6	Sesto report di valutazione.
AT	Acidità titolabile.
CFC	Clorofluorocarburi.
CH_4	Metano.
cm	Centimetro.
CO_2	Diossido di carbonio.
ERF	Forzante radiativo effettivo.
FAPAR	Frazione assorbita della radiazione fotosinteticamente attiva.
g	Grammo.
G.E.	Giorni estivi.
gg	Giorni.
GG	Gradi giorno.
gs	Conduttanza stomatica.
H_2O	Acqua.
ha	Ettaro.
HCFC	Idroclorofluorocarburi.
HDPE	Polietilene ad alta densità.
HFC	Idrofluorocarburi.
IPCC	Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico.

IRGA	Infra-Red-Gas-Analyser.
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
Kg	Kilogrammo.
KM	Kilometro.
l	Litro.
LAI	Indice di area fogliare.
m	Metro.
mm	Millimetro.
N.T.	Notti tropicali.
N ₂ O	Monossido di azoto.
NDVI	Indice di vegetazione.
PAR	Radiazione fotosinteticamente attiva.
PH	Potenziale di idrogeno.
PMA	Peso medio degli acini.
PMG	Peso medio dei grappoli.
P _n	Fotosintesi netta.
s	Secondo.
SAOD	Densità ottica degli aerosol superficiali.
SPI	Standardized precipitation index.
T	Temperatura.
W	Watt.

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Il cambiamento climatico sta causando importanti ripercussioni ambientali, economiche e sociali, e il suo impatto è destinato a crescere, secondo l'ultimo report dell'IPCC (cfr. AR6, 2021), per ogni ulteriore aumento di temperatura.

Oltre ad un continuo aumento della temperatura media globale rispetto all'epoca preindustriale si stanno riscontrando, con frequenza sempre maggiore, eventi meteorologici estremi, quali ondate di calore, spesso accompagnate da periodi siccitosi, e precipitazioni eccezionali. In particolare, gli eventi piovosi, sebbene non sembrano aver subito sensibili mutazioni dal punto di vista quantitativo, stanno cambiando la loro frequenza, riducendosi ad un numero minore di eventi annui, caratterizzati mediamente da un maggior quantitativo di pioggia caduta, il che si traduce in una maggiore ripetitività di fenomeni a carattere eccezionale, contrapposti a periodi siccitosi più frequenti e prolungati.

In viticoltura, se per un certo periodo di tempo il riscaldamento globale, accompagnato dal perfezionamento delle tecniche, abbia favorito il raggiungimento di risultati qualitativi mai visti in precedenza, ed abbia permesso di estendere la coltivazione della vite a zone un tempo climaticamente non idonee, negli ultimi anni lo stress radiativo e idrico cui la pianta è sottoposta stanno modificando il profilo organolettico dei vini; se non verranno trovate delle soluzioni valide, ipotetici scenari futuri prevedono la possibilità che la coltivazione della vite dovrà essere abbandonata in alcune delle aree in cui è attualmente insediata (Gulev et al., 2021), generando un impatto devastante dal punto di vista economico e sociale. Inverni sempre più miti e temperature primaverili sopra la media anticipano le fasi fenologiche della vite, mentre importanti stress termici e radiativi estivi, spesso accompagnati da periodi siccitosi, completano il quadro, determinando anticipi di maturazione e alterando la composizione dei parametri tecnologici principali: gli acini mostrano un'elevata concentrazione zuccherina spesso non accompagnata da pH e acidità totale soddisfacenti (Keller, 2010), rendendo indispensabili delle correzioni in cantina.

I. Il cambiamento climatico: le cause

La comunità scientifica concorda quasi all'unanimità nell'attribuire le cause del cambiamento climatico alle attività umane. A partire dal 1750 il cambiamento del forzante radiativo¹ (ERF) da fattori naturali è trascurabile rispetto alla variazione dei fattori antropogenici. La radiazione solare totale media, molto probabilmente, è aumentata durante i primi sette decenni del XX secolo ed è diminuita successivamente, mentre non è cambiata significativamente tra il 1986 e il 2019 (Lean, 2018; Wu et al., 2018). L'attività solare dalla fine del XIX secolo è stata relativamente alta, ma non a livelli eccezionali se collocata nel contesto degli ultimi 9.000 anni. Il forzante radiativo globale medio associato all'attività solare è compreso tra $-0,06 \text{ W m}^{-2}$ e $+0,08 \text{ W m}^{-2}$. Il forzante radiativo degli aerosol vulcanici, la variabilità del SAOD (densità ottica degli aerosol superficiali) e del suo forzante di aerosol vulcanico associato, dal 1900 non risultano inusuali relativamente agli ultimi 2.500 anni (Figura I.1).

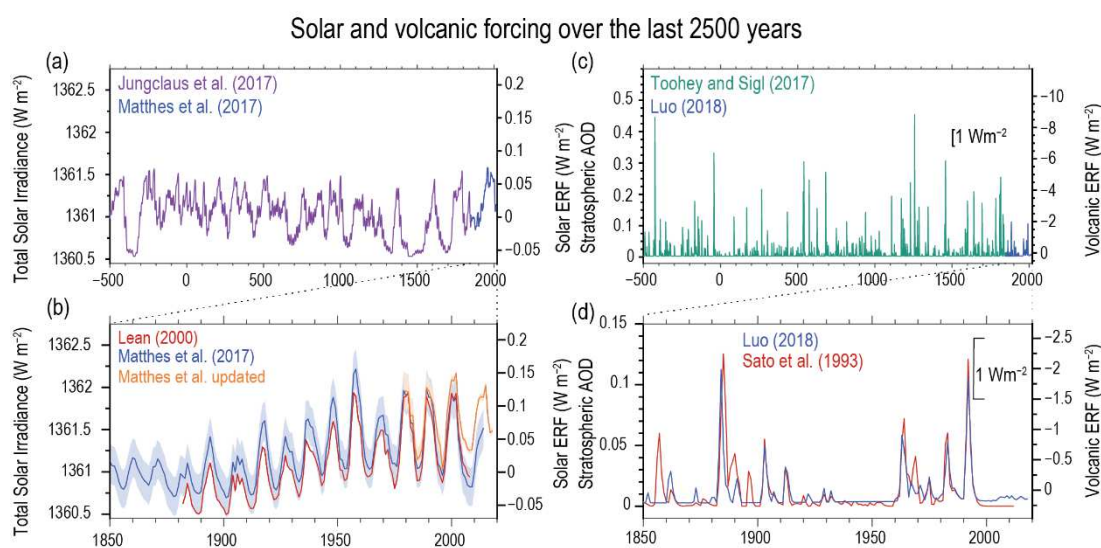


Figura I.1. Forzante radiativo solare e vulcanico negli ultimi 2500 anni (Gulev et al., 2021).

¹ Forzante radiativo: è la misura dell'influenza di un fattore nell'alterazione del bilancio tra energia entrante ed energia uscente nel sistema Terra-atmosfera. Esso è indice del peso di un fattore nel meccanismo dei mutamenti climatici. Un forzante positivo è associato ad un riscaldamento della superficie terrestre, mentre un forzante negativo è associato ad un raffreddamento. È generalmente espresso in W m^{-2} .

Prendendo in considerazione i principali gas serra, CO₂, N₂O e CH₄, la loro concentrazione nella troposfera (Figura I.2 e I.3), rispetto al periodo preindustriale, ha avuto una crescita che non riscontra precedenti nella storia del pianeta. Il forzante radiativo combinato dei tre gas (Figura I.4) relativo al periodo 1750-2019, è di $2,9 \pm 0,5 \text{ W m}^{-2}$ (Gulev et al., 2021), fornendo così una prova evidente dell'origine antropogenica dei cambiamenti climatici. Di fatto i gas serra trattengono i raggi infrarossi emessi dalla superficie terrestre e li rinviano al suolo come radiazione diffusa, causando il cosiddetto effetto serra.

Gli alocarburi (CFC, HCFC, HFC), un altro tipo di gas serra, nel 2019 registravano complessivamente un forzante radiativo di $0,41 \pm 0,07 \text{ W m}^{-2}$ (Gulev et al., 2021). Dai primi anni 2000 la concentrazione atmosferica di CFC è in diminuzione, in seguito agli accordi stipulati con il Protocollo di Montreal² del 1987, che stabilisce la riduzione di produzione e uso dei gas depauperanti lo strato di ozono, dei quali CFC è il principale responsabile; tuttavia, la concentrazione di HCFC e HFC, entrambi gas serra utilizzati rispettivamente in sostituzione di CFC e HCFC, è in aumento.

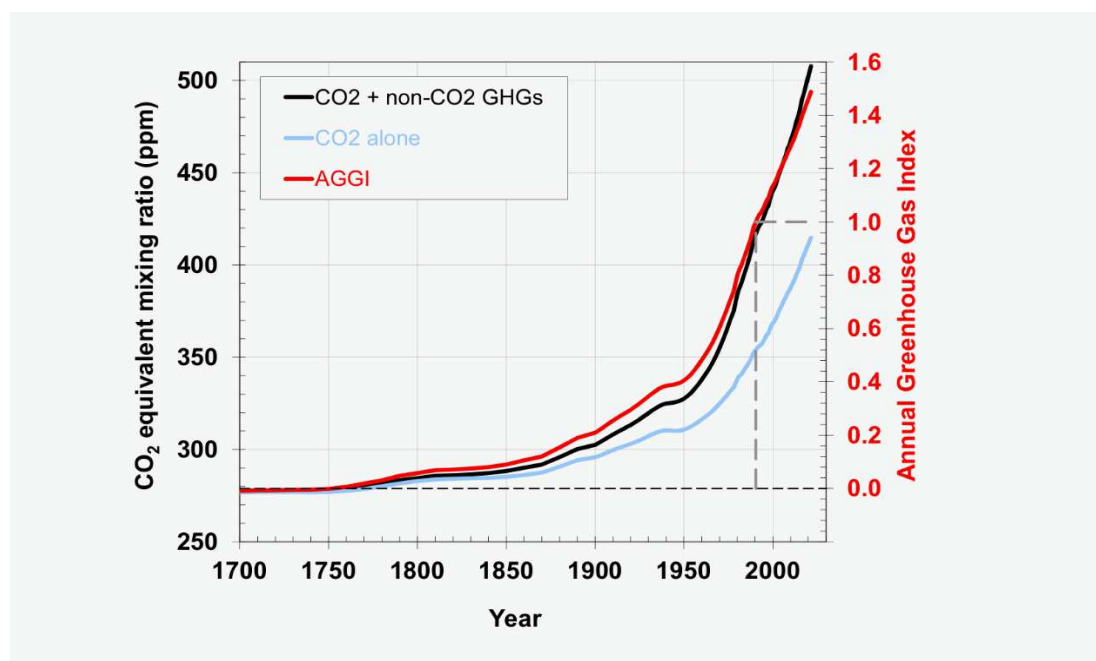


Figura I.2. Andamento della concentrazione di CO₂ atmosferica dal 1700 (NOAA annual greenhouse gas index, 2022).

² Protocollo di Montreal: entrato in vigore nel gennaio 1989, è lo strumento operativo dell'UNEP, il Programma Ambientale delle Nazioni Unite, per l'attuazione della Convenzione di Vienna "a favore della protezione dell'ozono stratosferico".

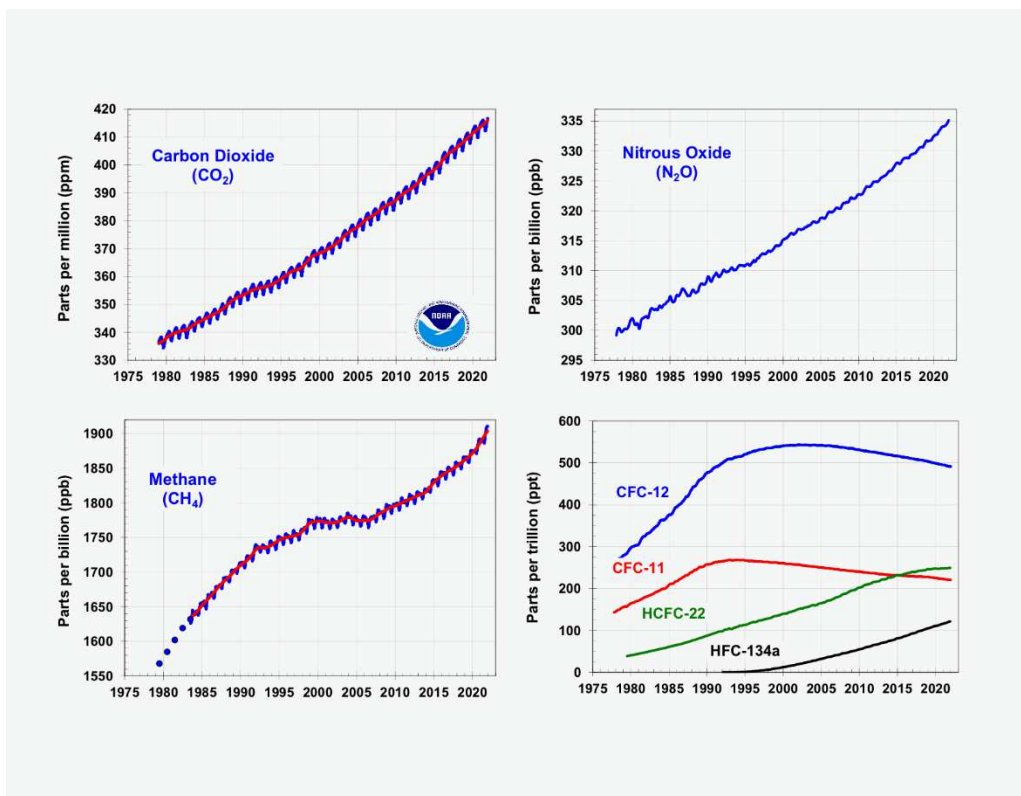


Figura I.3. Andamento della concentrazione atmosferica di CO_2 , N_2O , CH_4 e alocarburi dal 1975 (NOAA annual greenhouse gas index, 2022).

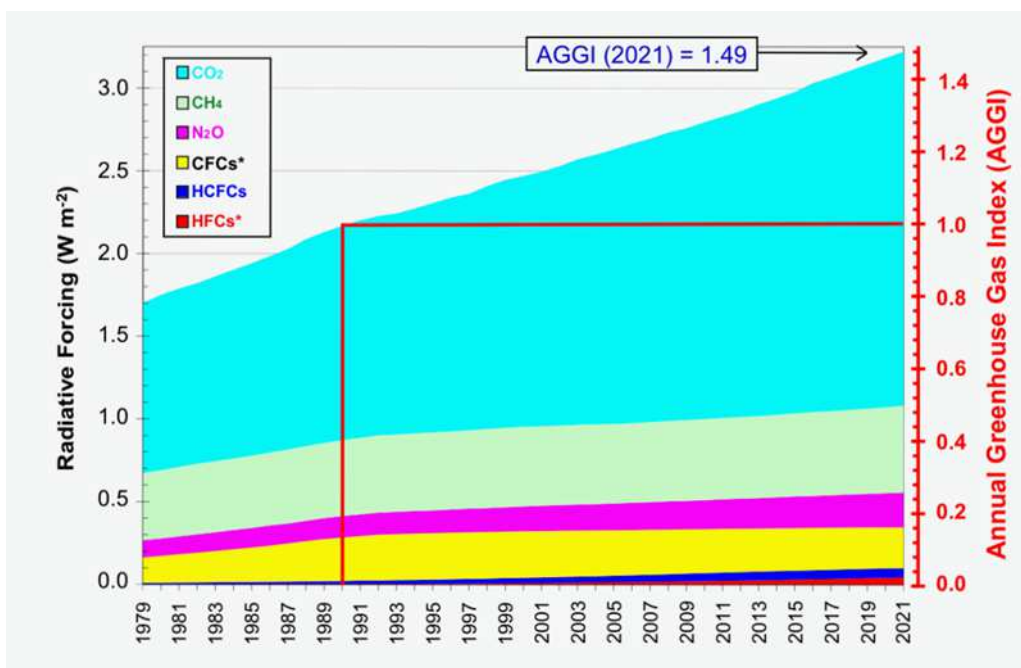


Figura I.4. Variazione del forzante radiativo di CO_2 , N_2O , CH_4 e alocarburi dal 1979 (NOAA annual greenhouse gas index, 2022).

La concentrazione di vapore acqueo atmosferico registra delle variazioni annuali sensibili per via di fenomeni periodici circoscritti. Trascurando queste dinamiche, il forzante radiativo del vapore acqueo prodotto dall'ossidazione di CH₄ rispetto al 1980 è stimato a $0,05 \pm 0,05 \text{ W m}^{-2}$ (Gulev et al., 2021).

L'ozono stratosferico negli anni '80 e '90 è diminuito del 3,5% rispetto al periodo 1964-1980 (Gulev et al., 2021), anche se si ritiene che il 40% della perdita totale sia avvenuta tra il 1960 ed il 1980 (Shepherd et al., 2014), considerato che l'uso ed il consumo di CFC è iniziato prima del 1980; dal 2000 la concentrazione media di ozono stratosferico è in leggera ma costante crescita, grazie alla riduzione nell'uso di CFC stabilita dal Protocollo di Montreal (1987). Nella troposfera, dove si comporta da gas serra, l'ozono è aumentato di quasi il 40% nel periodo compreso tra il 1850 ed il 2005, ma la maggior parte degli incrementi si sono registrati tra il 1950 ed il 1980 (Yeung et al., 2019). Per quanto le variazioni siano differenti nelle varie parti del pianeta, si stima che i cambiamenti di concentrazione dell'ozono tra il 1750 ed il 2019 abbiano un forzante radiativo compreso tra 0,24 e 0,7 W m^{-2} .

La combustione di biomassa e di combustibili fossili rispetto all'epoca preindustriale ha incrementato l'immissione nell'atmosfera di aerosol, aumentando così la densità ottica degli aerosol (indice della misura in cui la luce solare è attenuata dalle particelle, un'importante variabile del bilancio energetico terrestre). In virtù dell'aumento della densità ottica degli aerosol rispetto all'epoca industriale, nonostante che dagli anni 80' la tendenza sia in decrescita, il forzante radiativo associato nel 2019 è di circa $-1,1 \text{ W m}^{-2}$ rispetto al 1750 (Gulev et al., 2021).

Le modifiche nell'uso del suolo dal 1750 hanno determinato un incremento dell'albedo terrestre, con conseguente variazione del forzante radiativo (Figura I.5), rispetto all'anno di riferimento, di $-0,15 \text{ W m}^{-2}$ (Gulev et al., 2021).

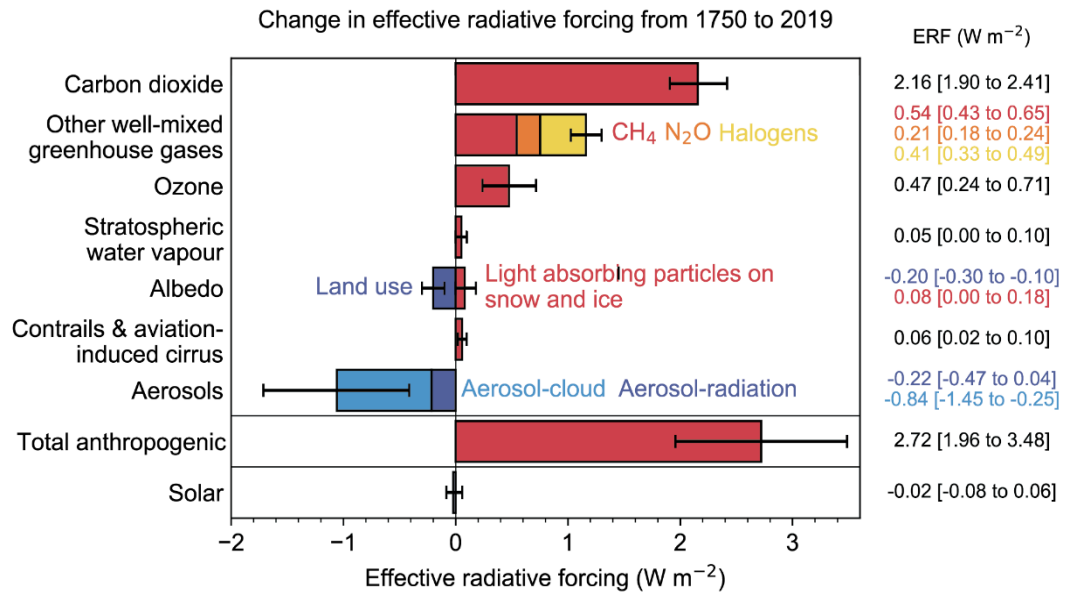


Figura I.5. Variazione del forzante radiativo terrestre dal 1750 al 2019 (Gulev et al., 2021).

II. Il cambiamento climatico: gli indicatori climatici

L'aumento dei gas serra nell'atmosfera ha causato e continua a causare sensibili variazioni della temperatura media globale, che, in modo particolare, appaiono evidenti negli ultimi decenni. La temperatura media globale è in continuo aumento dagli anni '70 (Figura II.1), e l'*anomalia termica*³ nel 2022 registra $+0,82 \pm 0,06$ °C rispetto al trentennio 1961-1990 (Figura II.2), periodo in cui il trend di continua crescita è iniziato (il 2022 è stato calcolato sulla base delle temperature registrate fino ad ottobre). L'aumento termico è più marcato nell'Emisfero Nord (Figura II.3) rispetto all'Emisfero Sud (Figura II.4), e il quadro si fa ancora più preoccupante se si considera che i tre anni più caldi registrati negli ultimi 173 anni sono in ordine 2016, 2020 e 2019 (Figura II.5).

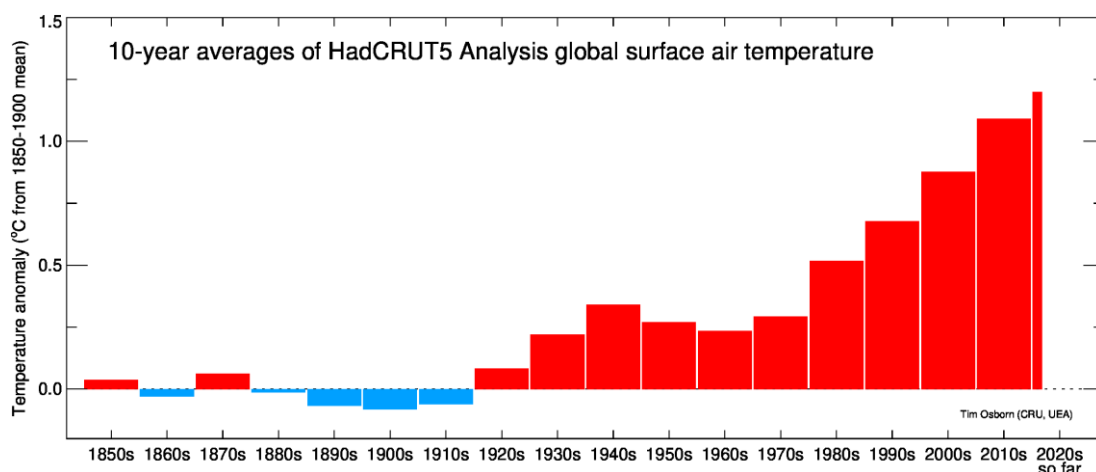


Figura II.1. Anomalia termica decennale, con media di riferimento 1850-1900 (Osborn et al., 2021).

³ *Anomalia termica*: differenza di temperatura, espressa in gradi Celsius, rispetto ad una media prefissata.

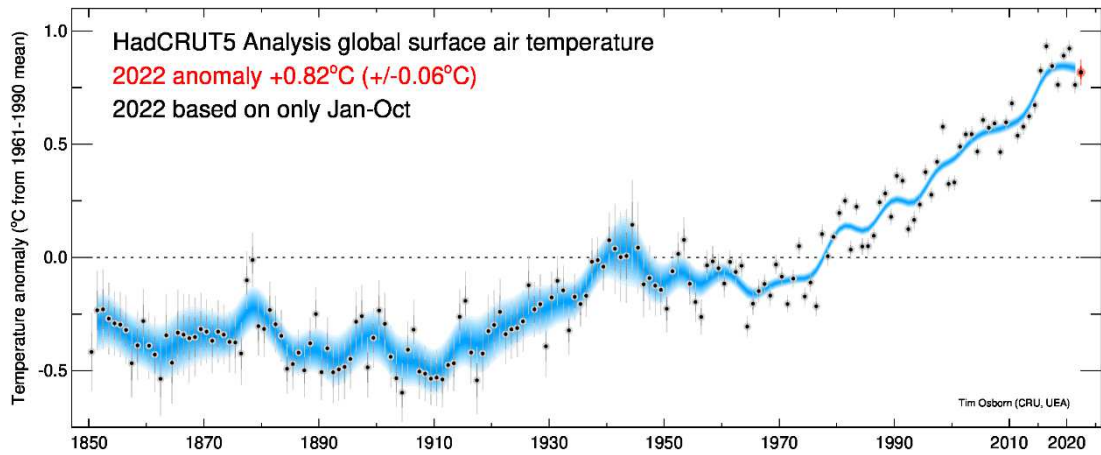


Figura II.2. Anomalia termica con media di riferimento 1961-1990 (Osborn et al., 2021).

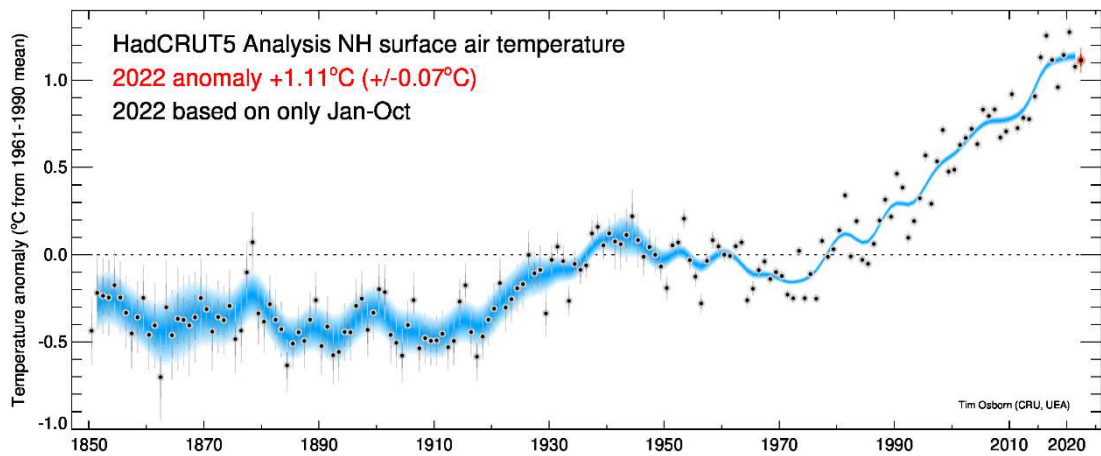


Figura II.3. Anomalia termica nell'Emisfero Nord, con media di riferimento 1961-1990 (Osborn et al., 2021).

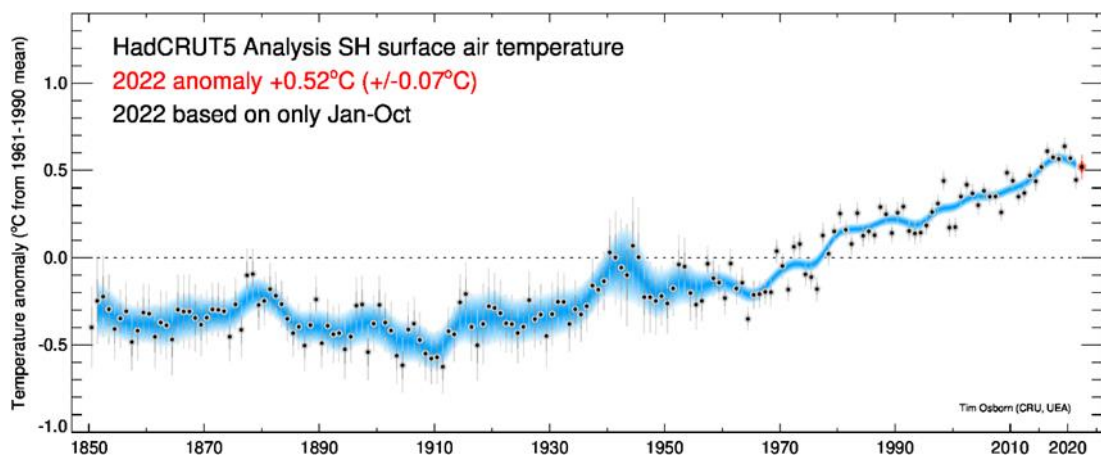
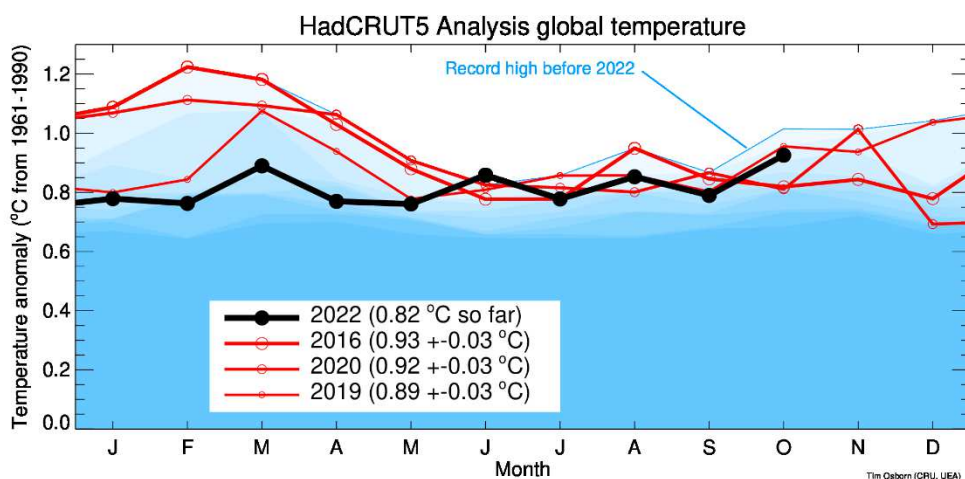


Figura II.4. Anomalia termica nell'Emisfero Sud, con media di riferimento 1961-1990 (Osborn et al., 2021).



Mean January to October surface temperature anomaly (°C)

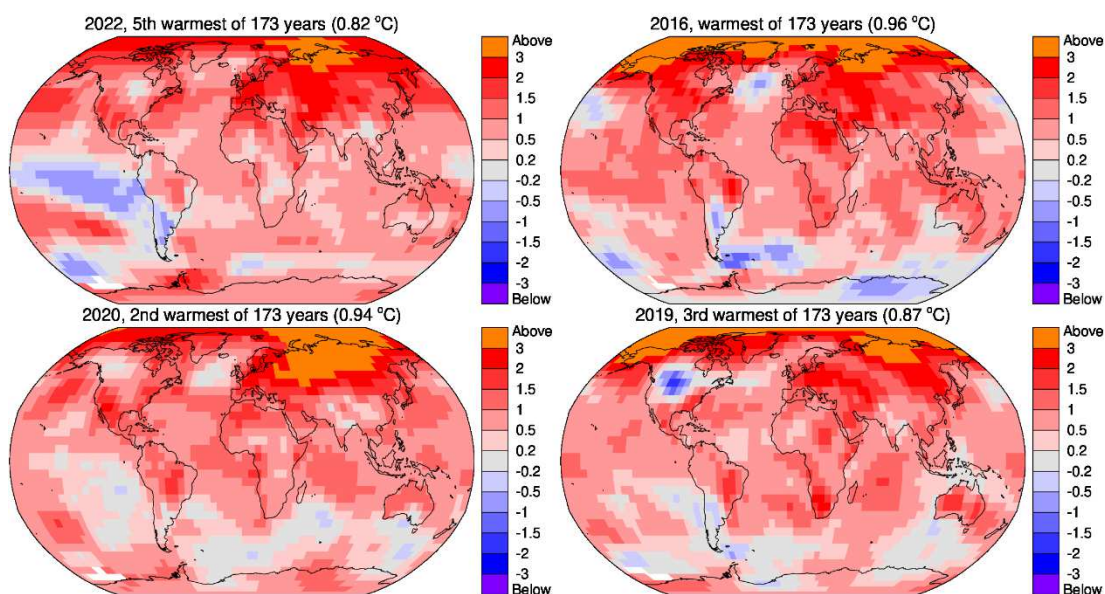


Figura II.5. Anomalia termica mensile degli anni 2016, 2019, 2020 e 2022, con media di riferimento 1961-1990 (Osborn et al., 2021)

Oltre alla temperatura, altri indicatori climatici chiave hanno subito dei mutamenti. L'umidità atmosferica è aumentata dal 1970, diminuendo poi a partire dagli anni 2000, specialmente alle medie latitudini dell'emisfero Nord, ma con aumenti registrati alle alte latitudini dello stesso emisfero (Gulev et al., 2021).

Le precipitazioni medie globali sono in leggero aumento a partire dagli anni '50, mentre dagli anni '80 si sono iniziate a riscontrare delle variabilità, anche importanti, tra i vari anni. Tuttavia, anche la distribuzione delle precipitazioni gioca un ruolo fondamentale: mentre le

precipitazioni medie annue sono aumentate nel lato Est del Nord America e nel Sud del Sud America, nell'Europa dell'Est, nel Nord dell'Eurasia e nel Nord-Ovest dell'Australia, diminuzioni importanti si sono registrate nel Sud dell'Asia e nelle regioni della fascia tropicale Ovest e della fascia equatoriale del continente africano (stando ai dati GPCC V2020 e CRU TS 4.04).

A partire dal 1850 i ghiacciai si stanno ritirando, e le attuali perdite di ghiaccio annue sono eccezionali se confrontate con l'andamento degli ultimi 2000 anni (Solomina et al., 2016). Nell'emisfero Nord, anche l'estensione della copertura nevosa nel mese di aprile è in calo, con una tendenza di $-0,29 (\pm 0,07)$ milioni di km^2 per decade, nel periodo compreso tra il 1922 e il 2018 (Figura II.6), mentre negli ultimi 40 anni si stanno registrando aumenti di temperatura nei primi 30 m del permafrost.

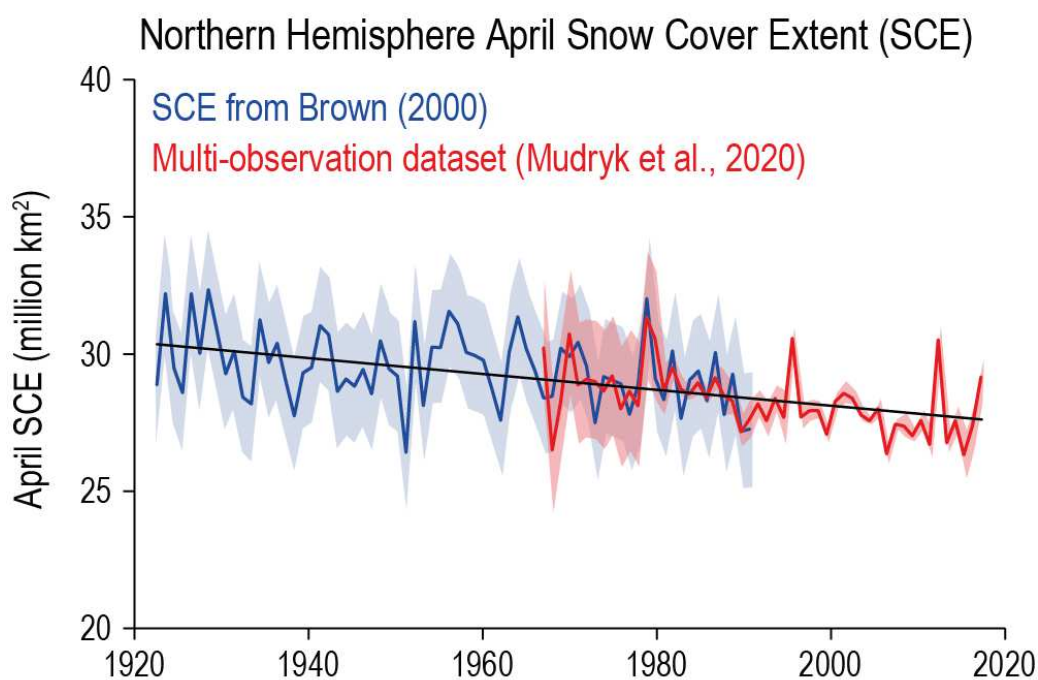


Figura II.6. Estensione della copertura nevosa nel mese di aprile nell'Emisfero Nord (Gulev et al., 2021).

Gli ultimi indicatori biologici da prendere in considerazione sono il periodo di crescita vegetativa e l'attività fotosintetica. Sono state rilevate estensioni del periodo di crescita vegetativa, in particolar modo nell'emisfero Nord, dove nel corso degli anni 1951-2018 l'incremento si attesta a + 2 giorni per decade (Dunn et al., 2020); allo stesso modo, dagli anni '80 sono evidenti degli aumenti in lunghezza della stagione di crescita fotosinteticamente attiva. Inoltre, dagli anni '80, globalmente sono stati rilevati aumenti dell'indice di vegetazione

(NDVI) e dell'indice di area fogliare (LAI) (Xiao et al., 2017; Chen et al., 2019), così come nella frazione assorbita della radiazione fotosinteticamente attiva (FAPAR) (Figura II.7) (Keenan e Riley, 2018).

Trends in fraction of absorbed photosynthetically active radiation

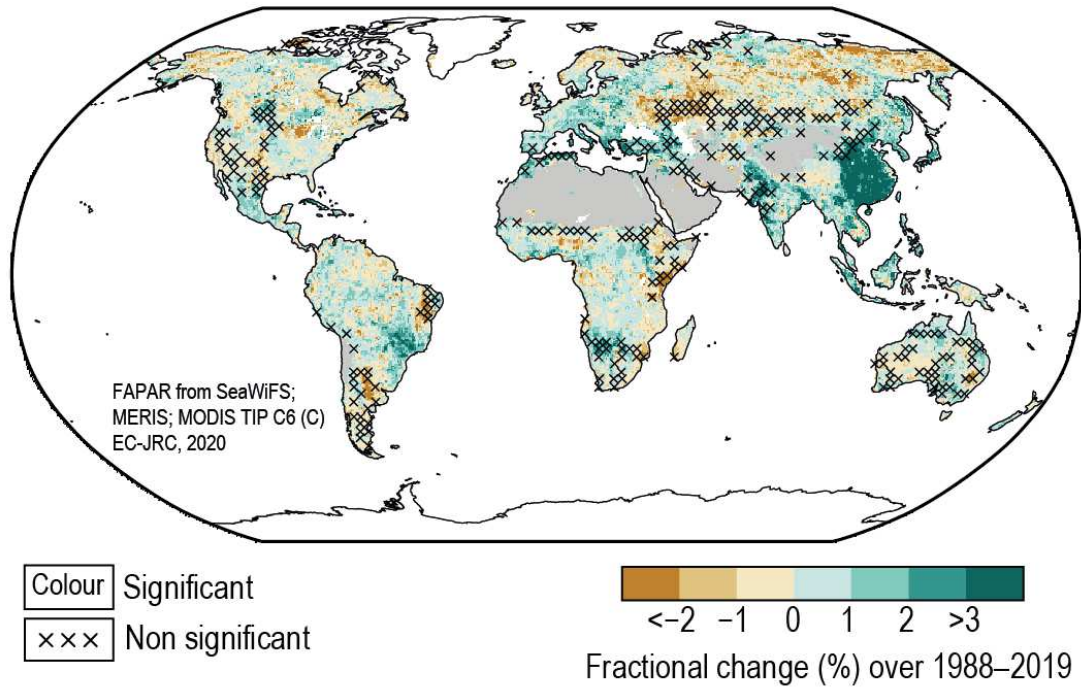


Figura II. 7 *Variazione della frazione assorbita della radiazione fotosinteticamente attiva (Gulev et al., 2021).*

III. La variazione dei dati climatici in Italia.

In Europa la stagione di crescita vegetativa della vite, dal 1950 al 2004, ha registrato un incremento termico di 1,7°C (Duchene e Schneider, 2005; Jones et al., 2005; Fraga et al., 2012).

In Italia, secondo i dati ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), l'anomalia termica del periodo climatologico 1991-2020, rispetto al periodo climatologico 1961-1990, è stata quasi sempre superiore all'anomalia media globale (Figura III.1), attestandosi, nel 2020, a +1,54°C (+0,1°C in confronto alla media globale). La temperatura media degli anni 1991-2020 è aumentata rispetto a quella degli anni 1961-1990 di 0,99°C (+8,11%) (Tabella III.1), e nello stesso periodo la temperatura media da aprile a ottobre è aumentata di 1,13°C (+6,77%) (dati CRU: Climatic Research Unit) (Figura III.2; Tabella III.2). Ancora in riferimento alla media del 1961-1990, secondo i dati ISPRA la media annuale dei giorni con gelo⁴ (Figura III.3) del periodo 1991-2020 è stata quasi sempre inferiore, mentre sono aumentati i giorni estivi⁵ (Figura III.4), le notti tropicali⁶ (Figura III.5) e le onde di calore⁷ (Figura III.6).

⁴ Giorni con gelo: il numero di giorni con temperatura minima assoluta dell'aria minore o uguale a 0°C.

⁵ Giorni estivi: giorni con temperatura massima dell'aria maggiore di 25°C

⁶ Notti tropicali: giorni con temperatura minima dell'aria maggiore di 20°C

⁷ Onde di calore: evento di almeno 6 giorni consecutivi, nei quali la temperatura massima è superiore al 90% della distribuzione delle temperature massime giornaliere nello stesso periodo dell'anno sul trentennio climatologico. L'indicatore conta il numero dei giorni caratterizzati da un'onda di calore, così definita, in un anno.



Figura III.1. Anomalia termica con periodo climatologico di riferimento 1961-1990; confronto tra quella italiana e quella globale (CRU CY v.4.06., 2022).

Tabella III.1. Variazione della temperatura media nel lungo periodo in Italia (rielaborazione dati CRU CY v.4.06., 2022).

Anni	1901-1930	1931-1960	1961-1990	1991-2020
Temperatura media	11,95°C	12,21°C	12,20°C	13,19°C
ΔT	-	+0,26°C	-0,01°C	+0,99°C
Variaz.(%)	-	+2,18%	-0,08%	+8,11%

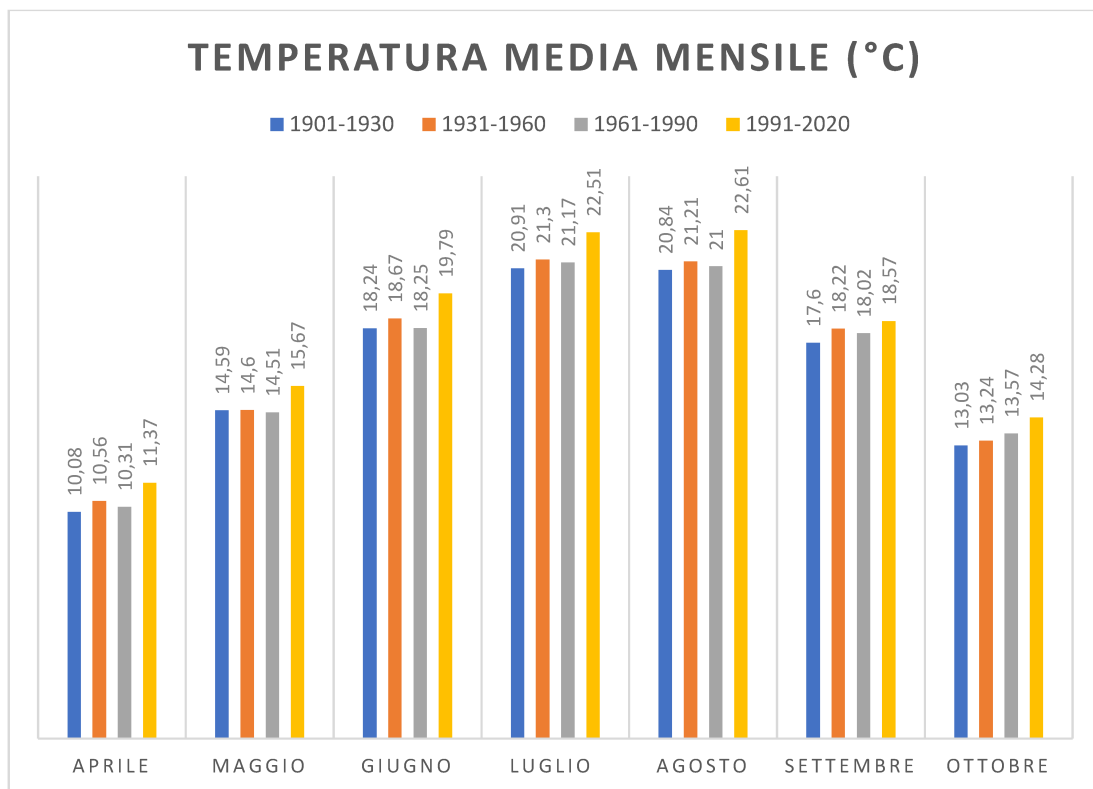


Figura III.2. Temperatura media mensile da aprile a ottobre, nei periodi climatologici 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990, 1991-2020, in Italia (rielaborazione dati CRU CY v.4.06., 2022).

Tabella III.2. Variazione della temperatura media mensile da aprile a ottobre, tra il periodo 1961-1990 e il periodo 1991-2020, in Italia (rielaborazione dati CRU CY v.4.06., 2022).

	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre
1961-1990	10,31°C	14,51°C	18,25°C	21,17°C	21,00°C	18,02°C	13,57°C
1991-2020	11,37°C	15,67°C	19,79°C	22,51°C	22,61°C	18,57°C	14,28°C
ΔT	+1,06°C	+1,16°C	+1,54°C	+1,34°C	+1,61°C	+0,55°C	+0,71°C
Variaz.(%)	+10,28%	+7,99%	+8,44%	+6,33%	+7,67%	+3,05%	+5,23%
ΔT media	+1,13°C						
V.(%) media	+6,77%						

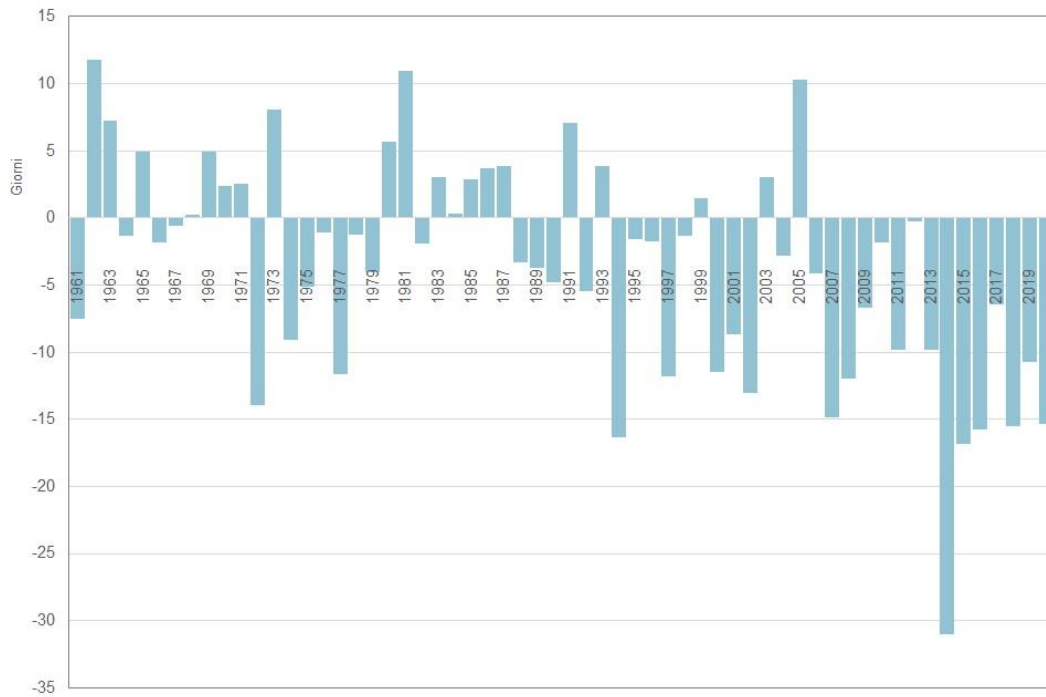


Figura III.3. Anomalia giorni con gelo in Italia, con media di riferimento 1961-1990 (Fioravanti et al., 2021).

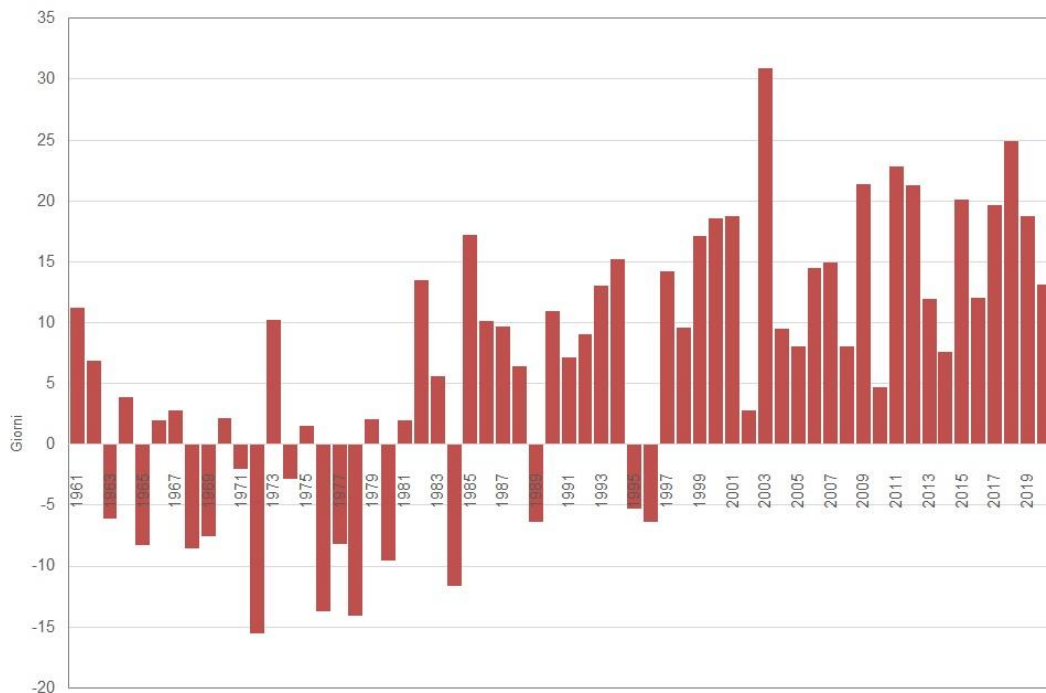


Figura III.4. Anomalia giorni estivi in Italia, con media di riferimento 1961-1990 (Fioravanti et al., 2021).

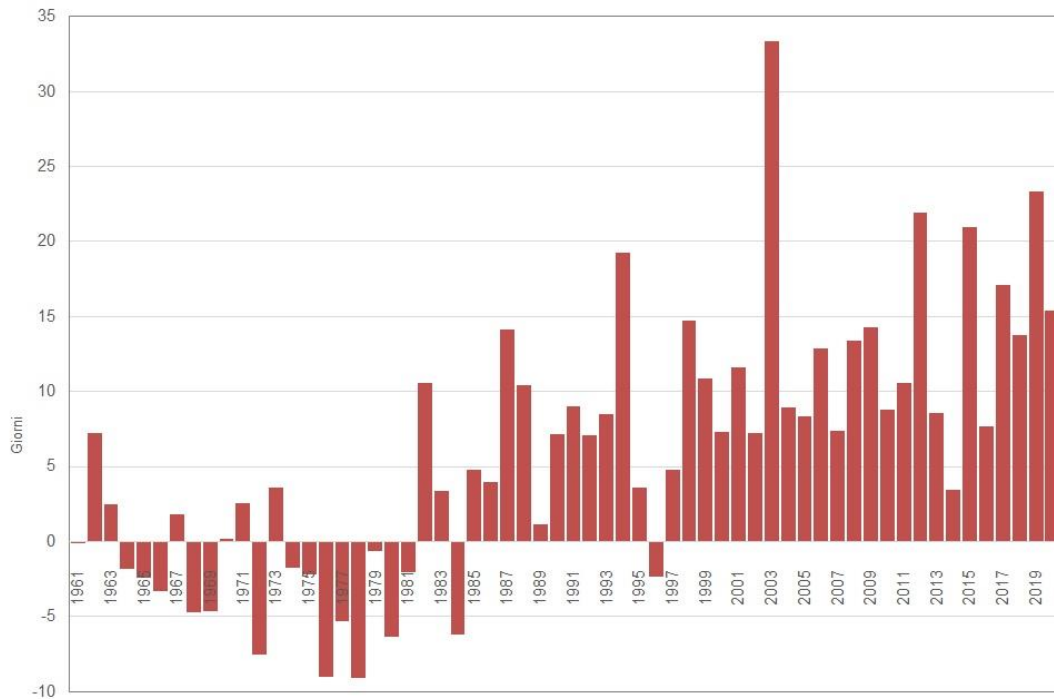


Figura III.5. Anomalia notti tropicali in Italia, con media di riferimento 1961-1990 (Fioravanti et al., 2021).

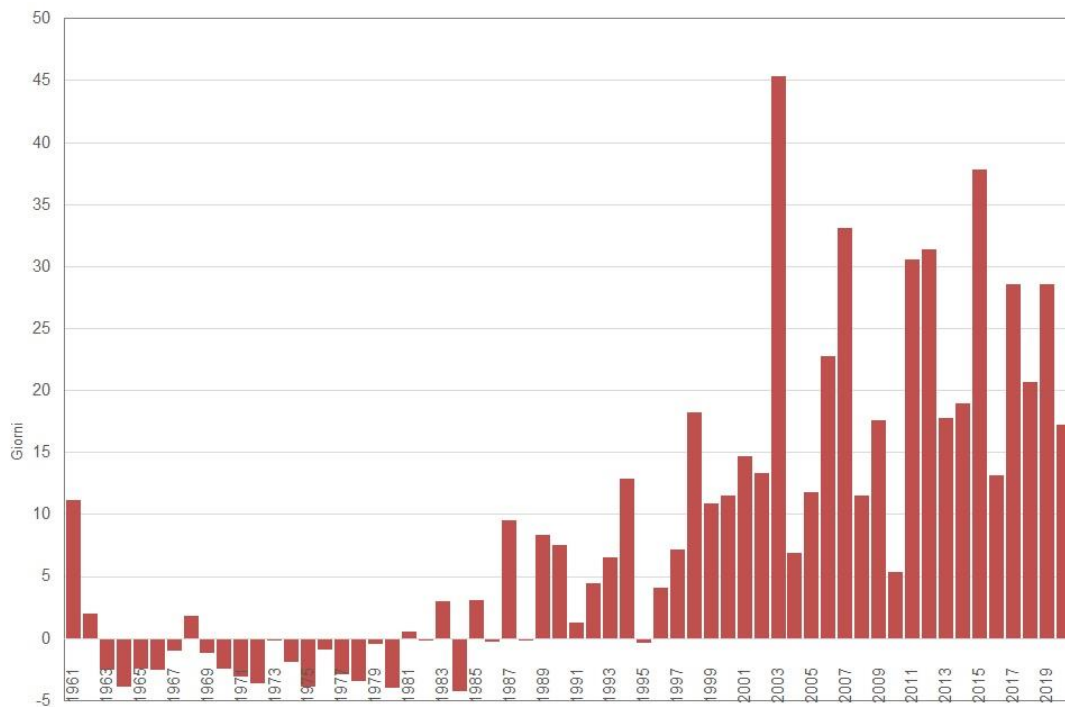


Figura III.6. Anomalia onde di calore in Italia, con media di riferimento 1961-1990 (Fioravanti et al., 2021).

Prendendo in considerazione l'andamento delle anomalie delle precipitazioni annuali per il territorio italiano dal 1800 al 2016, relative alla media del periodo 1971-2000 (Figura III.7), elaborate da Brunetti e Maugeri (2018), si evidenzia una tendenza leggermente negativa, con un trend pari a $-0,47 \pm 0,15\%$ per decennio, maggiormente pronunciato al nord, dove il trend è di $-0,64 \pm 0,18\%$ per decennio. A livello stagionale, si nota una più forte diminuzione invernale e primaverile per l'Italia meridionale (con una diminuzione del 22% e del 12% dal 1800 ad oggi) con un'inversione di tendenza negli ultimi decenni, mentre per l'Italia settentrionale le stagioni con il segnale negativo più forte sono l'estate e l'autunno (-19% e -25% dal 1800 ad oggi).

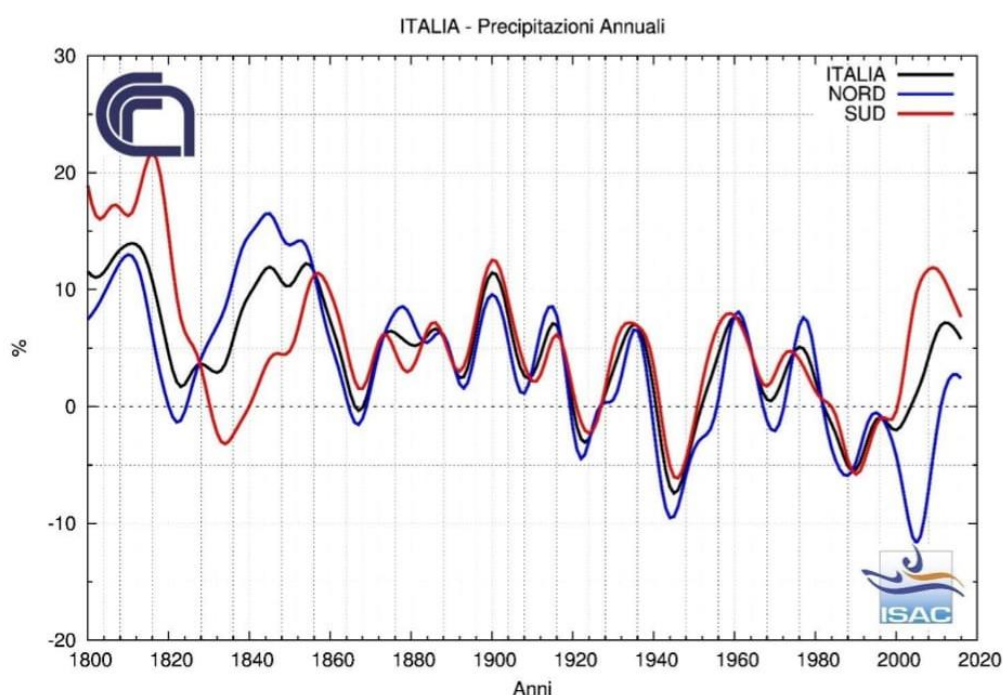


Figura III.7. andamento delle anomalie delle precipitazioni annuali in Italia dal 1800 al 2016, con media di riferimento 1971-2000 (Brunetti e Maugeri, 2018).

Dal 1952 al 2019, per quanto concerne la percentuale del territorio italiano soggetto a deficit e surplus di precipitazione, basandosi sull'SPI⁸ a 3 mesi, che fornisce indicazioni sull'umidità del suolo, non si evidenziano trend significativi (Figura III.8); invece, in base all'SPI a 12 mesi, riguardante le portate fluviali e l'immagazzinamento di volumi idrici negli

⁸ SPI: Standardized Precipitation Index (EDO), è l'indicatore più utilizzato per individuare e descrivere la siccità meteorologica; misura le anomalie di precipitazione in una data località, sulla base di un confronto tra le precipitazioni totali osservate in un periodo di interesse, con le precipitazioni storiche di lungo periodo registrate per quella finestra temporale.

invasi naturali e artificiali, si evidenzia un trend crescente della percentuale di territorio soggetta a siccità estrema ($SPI < -3$) e severa o moderata ($-2 < SPI < -1$), mentre si nota una tendenza decrescente della percentuale del territorio nazionale soggetto a condizione di normalità ($-1 < SPI < 1$), di umidità severa o moderata ($1 < SPI < 2$) e di umidità estrema ($SPI > 2$) (Figura III.9).

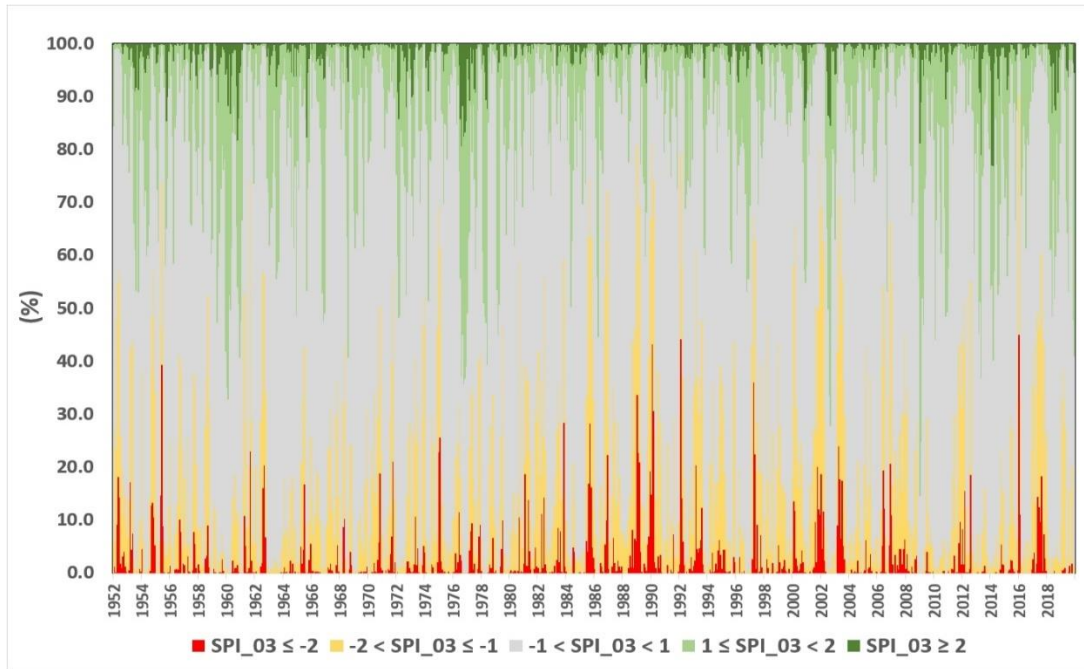


Figura III.8. SPI a 3 mesi dal 1952 al 2019 (Braca et al., 2021).

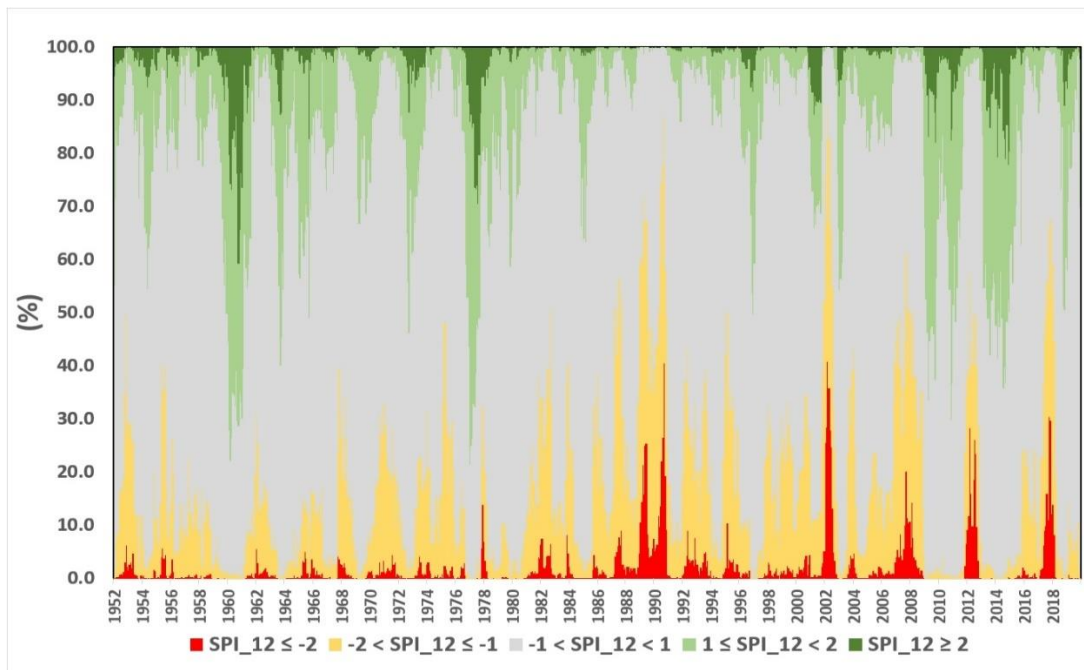


Figura III.9. SPI a 12 mesi, dal 1952 al 2019 (Braca et al., 2021).

IV. Gli effetti del cambiamento climatico sulla viticoltura.

La coltivazione della vite (*Vitis vinifera* L.) è ampiamente diffusa in climi secchi: circa il 60% delle coltivazioni ha luogo in climi semi-aridi, tant'è che in molte regioni vitivinicole il consumo di acqua per pianta, indicativamente attorno ai 300-700 mm, è spesso maggiore della media delle piogge annuali (Flexas et al., 2010). Se da un lato un regime di deficit idrico controllato è mediamente favorevole alla qualità delle uve, in special modo per quelle a bacca rossa (Van Leeuwen et al., 2009), severi stress idrici, soprattutto se accompagnati da alte temperature, che aumentano il deficit di pressione di vapore, e quindi l'evapotraspirazione, possono sortire effetti dannosi. Inizialmente si assiste ad un calo delle rese determinato dalla riduzione delle dimensioni degli acini, ma la situazione può aggravarsi e gli acini possono avvizzire, fino a riscontrare, nei casi più gravi, la necrosi di interi grappoli (Cook et al., 2015; Yu e Kurtural, 2020). La pianta, inoltre, per abbassare la temperatura fogliare potrebbe aumentare la conduttanza stomatica, determinando un'ulteriore perdita idrica.

La temperatura e la radiazione solare influenzano profondamente le fasi fenologiche, le rese, la sintesi e l'accumulo di metaboliti primari e secondari (Del Castillo Alonso et al., 2021). L'innalzamento delle temperature comporta maggiori tassi di evaporazione, e quindi maggiori precipitazioni; tuttavia, esse hanno una distribuzione irregolare. Di fatti, in molte regioni vitivinicole si prevede una riduzione della copertura nebulosa e delle piogge, e un conseguente aumento della radiazione solare incidente (Trenberth e Fasullo, 2009). La temperatura e la radiazione solare sono fondamentali per il metabolismo della vite, sebbene alti valori di PAR (radiazione fotosinteticamente attiva) siano annessi ad elevata traspirazione e disidratazione dei frutti (Van Leeuwen et al., 2017; Bergqvist et al., 2021). Temperature sopra i 32°C possono determinare alte concentrazioni di estratto secco, ma l'ottenimento di valori superiori a 26-27 °Brix è più probabilmente dovuto a fenomeni di disidratazione piuttosto che all'accumulo di fotosintetati mediante trasporto (De Orduna, 2010; Ju et al., 2018). In aggiunta, se la radiazione e/o la temperatura sono eccessive, oltre all'avvizzimento si può verificare la demolizione dei tessuti dei frutti (Bonada et al., 2013; Lobos et al., 2015), e questi fenomeni sono più frequenti in condizioni siccitose (Williams, 2001). Inoltre, generalmente, a temperature più alte di 30°C l'inibizione del fotosistema II, la componente più termolabile della catena di trasporto degli elettroni, determina un progressivo calo della capacità e della resa di assorbimento di CO₂ (Georgieva et al., 2000), limitando quindi l'attività fotosintetica della pianta.

Le temperature influenzano notevolmente anche la composizione acidica dell'acino: l'acido tartarico non subisce importanti variazioni in funzione delle temperature, mentre

eccessi termici possono ridurre fino quasi ad azzerare il quantitativo di acido malico alla vendemmia (Lobit et al., 2006). Un mosto con bassa acidità e pH elevato richiede aggiunte di acido tartarico, che, oltre a migliorare il gusto del prodotto finito, limita il possibile insorgere di fenomeni di instabilità microbiologica, generalmente più frequenti in mosti con alte concentrazioni di solidi solubili e pH elevato (Keller, 2010).

Luce e temperature influenzano profondamente anche il metabolismo dei composti fenolici ed aromatici. La produzione di questi metaboliti secondari avviene in reazione a condizioni di stress (Gershenzon e Dudareva, 2007). Tuttavia, temperature eccessive possono limitare la sintesi di antociani, eventualmente indurre una loro degradazione (Torres et al., 2020), e persino portare ad una perdita di sincronia tra il loro accumulo e quello zuccherino, producendo così un'uva con scarso quantitativo di antociani (Sadras e Moran, 2012), e rendendo difficile stabilire la data ideale di vendemmia.

Condizioni generiche di illuminazione sono parimente importanti per la produzione di composti aromatici: studi sulla concentrazione alla vendemmia di monoterpeni glicosilati in Gewurztraminer (Reynolds e Wardle, 1989) e di norisoprenoidi in Riesling e Chenin Blanc (Marais et al., 1992), in grappoli portati a maturazione in condizioni di completa illuminazione, parziale ombreggiamento e ombreggiamento totale, hanno evidenziato livelli più alti nei frutti esposti al sole. Tuttavia, un'eccessiva esposizione alla luce solare, e soprattutto temperature elevate, determinano un'importante riduzione di metossipirazine, ed esperimenti condotti in Sicilia sulla varietà Grillo, in condizioni di stress termico e radiativo, hanno evidenziato una riduzione delle componenti aromatiche per effetto di una defogliazione precoce della fascia produttiva (Costanza et al., 2007), e quindi per una lunga e continuativa esposizione diretta alla radiazione solare.

In definitiva l'innalzamento delle temperature, causato dal cambiamento climatico, aumenta la frequenza di rinvenire nel vigneto, al momento della vendemmia, grappoli con segni di scottature, talvolta evidenti, e parzialmente avvizziti, e la situazione si aggrava se il periodo di forte stress radiativo e termico è concomitante a condizioni siccitose. Tale vendemmia verosimilmente fornirà dei mosti con elevata concentrazione zuccherina, elevato pH e bassa acidità totale; un mosto con questi parametri produrrà un vino con un elevato quantitativo di etanolo, determinando una perdita di finezza gustativa, esaltata dal fatto che il gusto acido sarà meno marcato e quindi non potrà bilanciare a dovere la morbidezza alcolica, rendendo quindi indispensabili in cantina delle aggiunte di acido tartarico e/o processi più laboriosi di dealcolizzazione. Se infatti, per un lungo periodo di tempo, l'obbiettivo enologico principale era quello di ottenere frutti con un'elevata concentrazione di solidi solubili,

recentemente, una fetta sempre più crescente di consumatori preferisce vini più freschi e dal contenuto alcolico moderato (Seccia e Maggi, 2011), ottenibili da uve con una concentrazione zuccherina inferiore, pH bassi ed acidità totale elevata.

Si ritiene necessario pertanto trovare delle valide soluzioni che possano mitigare gli effetti del cambiamento climatico in viticoltura, e non soltanto nel breve periodo, al fine di mantenere un elevato standard qualitativo del prodotto, ma anche in ottica di lungo periodo, poiché si prevede che le regioni Mediterranee dovranno affrontare importanti cali qualitativi nei frutti, e, oltretutto, questo calo qualitativo si risentirà maggiormente nei vini di maggior prestigio (Cardell et al., 2019; Teslić et al., 2019).

L'innalzamento delle temperature, oltre ad aver aumentato la concentrazione di solidi solubili nell'acino, ha anche anticipato le fasi fenologiche della vite, tra cui anche la fioritura e la maturazione (Koufos et al., 2020). Il rischio più remoto è che la viticoltura, a causa della mutazione delle condizioni ambientali, dovrà essere abbandonata in alcune delle aree dove è da tempo consolidata.

V. Strategie innovative a lungo termine per mitigare gli effetti del cambiamento climatico in viticoltura.

Tra le strategie a lungo termine verranno considerate tutte le scelte che, una volta operate, non possono essere modificate se non che con l'espianto del vigneto, o, in pochi casi, con importanti riarrangiamenti, e il cui impatto si ripercuote dunque per l'intera vita dell'impianto. Rientrano in quest'ottica la ricerca di cloni resistenti, lo studio di nuove combinazioni tra nesto e portinnesto, la collocazione dei vigneti la modulazione dei sistemi di allevamento.

In accordo con Palliotti et al., (2014) la ricerca genetica va orientata verso l'individuazione e l'ottenimento di genotipi resistenti agli stress termici, radiativi ed idrici, quindi, in ultima analisi, quelli caratterizzati da un'ottima efficienza d'uso dell'acqua. Inoltre, sembrerebbe logico preferire nesti portanti grappoli e acini di dimensioni maggiori, poiché queste caratteristiche potrebbero a rallentare l'accumulo di solidi solubili, e anche abbassarne la concentrazione alla raccolta (Bandinelli et al., 2000; Fidelibus et al., 2006). Anche i portinnesti andrebbero selezionati in base alla tolleranza agli stress idrici, e un rinnovato interesse andrebbe riposto nell'interazione tra il nesto ed il portinnesto, optando per portinnesti di medio/alto vigore (Palliotti et al., 2014), che garantirebbero rese per pianta più elevate, favorendo verosimilmente un più lento accumulo di solidi solubili.

In regioni caratterizzate da radiazione e temperature severe, l'orientamento dei filari potrebbe essere rivalutato per ridurre l'intercettazione della luce solare, mentre i vigneti potrebbero essere spostati ad altitudini maggiori, dove le temperature sono meno accentuate (Palliotti et al., 2014).

I sistemi di allevamento a vegetazione assurgente, in cui solitamente vi è una netta separazione tra la fascia vegetativa e quella produttiva, determinano in alcuni casi un'eccessiva esposizione dei grappoli al sole, che può causare avvizzimenti e scottature (Palliotti et al., 2014). Jackson e Lombard (1993), invece, hanno dimostrato che le condizioni ambientali ideali per un'ottimale maturazione del grappolo siano di illuminazione diffusa, interrotta occasionalmente da fasci di luce diretta; al netto di questi risultati, consegue che nei sistemi di allevamento a vegetazione assurgente andrebbe posta estrema attenzione alla modalità ed alla tempistica della defogliazione, mentre la scelta ottimale, per garantire ai grappoli il microclima ideale, potrebbe esser rappresentata dai sistemi di allevamento a chioma libera.

VI. Strategie innovative a breve termine per mitigare gli effetti del cambiamento climatico in viticoltura.

Tra le strategie a breve termine utili a mitigare gli effetti del cambiamento climatico rientrano le soluzioni la cui adozione può essere valutata e decisa di anno in anno, e generalmente circoscritte ad una stagione di crescita, o parte di essa. Tra queste strategie possiamo distinguere quelle applicabili all'inizio del ciclo vegetativo (non flessibili), nel caso in cui si ritiene altamente probabile il verificarsi di molteplici stress estivi, e quelle che possono essere praticate in qualsiasi momento della stagione vegetativa e solo se si verificano condizioni critiche (flessibili).

La maggior parte di queste tecniche agisce sulla maturazione tecnologica delle uve poiché rimodulano in modo calibrato il processo fotosintetico, portando a posticipare l'epoca di vendemmia. In numerosi studi sono state affrontati gli effetti di diverse modalità e tempistiche della potatura (Friend, Trought, 2007; Palliotti et al., 2017; Silvestroni et al., 2018a), della cimatura dei germogli (Filippetti et al., 2011) e della defogliazione (Silvestroni et al., 2016, 2018b), variazioni del rapporto foglie/frutti, tecniche di irrigazione (Lanari et al., 2014), l'utilizzo di reti ombreggianti e l'applicazione di sostanze filmogene (Silvestroni et al., 2020) e di sostanze regolatrici della crescita.

Una potatura minima, corrispondente all'asportazione del 10-15% dei nodi, produce numerosi grappoli di piccole dimensioni, quindi una vendemmia con un maggior rapporto buccia/frutti, che si traduce, nelle uve a bacca rossa, in grappoli ricchi di composti fenolici, ed anche, specificamente, di antociani; questi frutti possono essere raccolti a concentrazioni zuccherine più basse, in quanto si raggiungono più rapidamente quantitativi di polifenoli soddisfacenti (Clingeffer, 1993). Invece, in alcune uve a bacca bianca, quali Riesling e Muller-Thurgau, applicando una potatura minima sono state ottenute rese più alte e acini più ricchi di precursori aromatici, sebbene la concentrazione di solidi solubili totali fosse leggermente inferiore al controllo (Schultz e Weyand, 2005).

Una potatura invernale tardiva, eseguita quando le prime gemme iniziano a gonfiarsi, permette di posporre il germogliamento di alcuni giorni (Howell e Wolpert, 1978). In Nuova Zelanda, su cultivar Merlot, ritardando ulteriormente la potatura invernale a quando la parte superiore dei tralci presenta già dei germogli di circa 5 cm, sono state riscontrate, rispetto al controllo, diminuzioni della concentrazione di solidi solubili di circa 3,6° Brix, una più lenta degradazione degli acidi durante la maturazione, ed un pH ottimale (Friend e Trought, 2007). Esperimenti condotti su Sangiovese da Palliotti et al. (2017) denotano che, posponendo la

potatura invernale allo stadio fenologico BBCH55 (infiorescenze rigonfie, fiori ancora chiusi e raggruppati tra loro), si determina un rallentamento della maturazione rispetto a due controlli (rispettivamente potati in fase di dormienza e di gemma gonfia), che trova riscontro, a maturazione di questi ultimi, nella differenza di concentrazione di solidi solubili totali, corrispondente a -1,1 °Brix, mentre l'acidità totale è superiore di 1,8 g/l di acido tartarico.

Una cimatura tardiva dei germogli può ridurre il rapporto tra area fogliare e frutti, e, stimolando la crescita dei germogli laterali, può innescare una competizione per i fotosintetati tra questi ed i frutti, rallentando quindi l'accumulo di solidi solubili nell'acino. Sperimentazioni su Riesling in Germania (Stoll et al., 2009), cui, in corrispondenza dell'allegagione, sono stati cimati i germogli immediatamente sopra i grappoli distali, hanno riscontrato rallentamenti della maturazione e dell'accumulo di solidi solubili e pH più bassi. Una cimatura dei germogli effettuata su Sangiovese una settimana dopo l'invaiaura ha rallentato l'accumulo di solidi solubili, mentre il pH, l'acidità totale e la concentrazione di polifenoli è rimasta invariata (Filippetti et al., 2011).

Una defogliazione delle foglie basali durante l'invaiaura non influisce significativamente sull'accumulo di solidi solubili, mentre lo stesso procedimento effettuato in prefioritura velocizza il raggiungimento della maturazione (Silvestroni et al., 2016, 2018). Un approccio rivoluzionario alla defogliazione, sperimentato da Stoll et al. nel 2009, ha invece determinato un ritardo di 2 settimane nella maturazione di Riesling; in questa sperimentazione, prima dell'invaiaura è stata largamente defogliata la parte apicale della chioma, vale a dire che sono state rimosse le foglie più attive a livello di attività fotosintetica. Per avere dei risultati soddisfacenti, tuttavia, è consigliabile rimuovere il 30-35% dell'area fogliare nel momento in cui la concentrazione di solidi solubili nei frutti si attesta sui 14-15° Brix (Palliotti et al, 2014).

Un basso rapporto tra area fogliare e resa in frutti determina una più bassa capacità, per la pianta, di accumulare fotosintetati negli acini (Kliewer e Dokoozlian, 2005), mentre aumentare le rese mantenendo, con la potatura invernale, un maggior carico di gemme, può sortire effetti aleatori, poiché non è detto che si registri effettivamente un basso rapporto tra area fogliare e frutti.

Alcuni studi hanno riportato che la microirrigazione a goccia in prossimità della vendemmia attenua l'avvizzimento dei frutti e il calo di raccolto in annate siccitose; la cultivar Cabernet Sauvignon ha mostrato un ridotto accumulo di solidi solubili, senza alterazioni della composizione fenolica, grazie ad un supplemento idrico tardivo, applicato dall'invaiaura alla vendemmia (Palliotti et al., 2014).

È risaputo che l'eccessivo ombreggiamento della vegetazione produce frutti e vini di bassa qualità, ma la produzione di un ombreggiamento calibrato, mediante reti ombreggianti, può ridurre lo stress idrico, radiativo e termico della vite (Lobos et al., 2015; Zha et al., 2022), rallentando così l'accumulo di solidi solubili e proteggendo gli acini da avvizzimenti e scottature. Anche l'uso di sostanze filmogene, dividendole tra quelle riflettenti, quali il caolino, il silicato di potassio ed il carbonato di calcio, e quelle antitraspiranti, quali il pinolene, aiutano la pianta ad alleviare importanti stress estivi, e quindi ritardano la maturazione e preservano i frutti (Palliotti et al., 2013; Silvestroni et al., 2020).

L'uso di sostanze regolatrici della crescita è sempre meno diffuso; tuttavia, alcune pratiche hanno dimostrato di essere efficaci per ritardare la maturazione e l'accumulo di solidi solubili nei frutti di vite (Palliotti et al., 2014).

VII. Le reti ombreggianti per contrastare gli effetti del cambiamento climatico in viticoltura.

L'ombreggiamento della vite può essere suddiviso in tre modalità:

- Ombreggiamento sovra chioma: il telo ombreggiante, sostenuto da una struttura a T, è posto sopra l'intera vite (Caravia et al., 2016);
- Ombreggiamento della chioma: la rete ombreggiante è posta su entrambi i lati della chioma (Caravia et al., 2016; Martinez-Luscher et al., 2016);
- Ombreggiamento dei grappoli: un telo, una borsa o una scatola ombreggiante è posta all'altezza dei grappoli (Caravia et al., 2016).

L'intensità di ombreggiamento creato dipende principalmente dalla fittezza della maglia, mentre si può optare per diverse soluzioni in merito alla percentuale di vegetazione protetta: è possibile coprire solo i grappoli, solo le foglie, i grappoli ed una parte delle foglie o tutta la vegetazione, solo da un lato o da entrambi.

Le reti ombreggianti paiono essere un'ottima strategia per attenuare lo stress termico e radiativo che la vite può riscontrare in estate, permettendo così di limitare l'evapotraspirazione e ottenere più alti quantitativi di acidità totale (Lu et al., 2021; Naulleau et al., 2021). Riducendo la frazione di radiazione fotosinteticamente attiva che raggiunge le foglie, l'ombreggiamento permette di rallentare e ridurre l'accumulo di solidi solubili negli acini, e quindi di ritardare la maturazione ed ottenere mosti meno zuccherini (Novello e De Palma, 2013; Villalobos-Soublett et al., 2021); mantenendo più bassa la temperatura della zona coperta, consente di ridurre le perdite di peso per evapotraspirazione e il danneggiamento dei tessuti dei frutti (Caravia et al., 2016).

Hao-Cheng Lu et al. (2021), ombreggiando Cabernet Sauvignon con reti assorbenti al 75% la prima metà della chioma e l'intera fascia produttiva, da 30 giorni dopo l'antesi fino alla vendemmia, hanno ottenuto, per le zone ombreggiate, una riduzione della temperatura media di 1°C rispetto al controllo, con picchi di 6°C nei giorni più caldi, e della radiazione solare incidente media del 74,6%; conseguentemente, anche il tasso di fotosintesi è risultato inferiore, mentre la conduttanza stomatica non sembra esser stata influenzata significativamente. Sono stati conseguiti importanti ritardi nella data di inizio e fine invaiatura, e di vendemmia, rispettivamente di 5, 9 e 15 giorni rispetto al controllo. Si è assistito ad un'importante riduzione della produzione di biomassa, con calo peso dei grappoli del 10,6% e del contenuto di amido nei tralci del 16,4%; sono diminuiti inoltre la concentrazione di solidi solubili ed il pH, mentre l'acidità totale ha registrato valori più elevati. Nonostante l'azione promotrice della luce in

favore della sintesi di antociani, gli acini ombreggiati misurano concentrazioni antocianiche totali superiori dell'11,2% rispetto al controllo, testimoniando che temperature troppo elevate possono ridurre la sintesi, desincronizzarne l'accumulo rispetto a quello zuccherino, ed indurne la degradazione (Mori et al., 2007; Torres et al., 2020).

Cataldo et al. (2022) in una sperimentazione biennale su Sauvignon Blanc, ombreggiando a partire dall'invasatura la fascia produttiva e una porzione di vegetazione sovrastante (circa il 35% dell'area fogliare totale) con reti ombreggianti al 30% ed al 70%, hanno sempre riscontrato temperature degli acini, fotosintesi netta e conduttanza stomatica superiori nel controllo rispetto alle tesi, ed i valori più bassi sono sempre stati rinvenuti nell'ombreggiamento al 70%; concordemente con l'esperimento di cui sopra, è di particolare interesse constatare l'impatto che l'applicazione delle reti ha sulle temperature dei grappoli in condizioni di piena illuminazione, quando il controllo registra temperature più alte di circa 6-7°C. Anche in questo caso, il controllo ha raggiunto una concentrazione zuccherina più elevata, mentre l'ombreggiamento al 70% mostra l'acidità totale più elevata, un maggior contenuto di precursori tiolici e acini mediamente più pesanti; non sono state rilevate differenze significative di pH.

Risultati interessanti dal punto di vista del patrimonio aromatico e fenolico sono stati ottenuti da Scafidi et al. (2013) su Grillo: ombreggiando i grappoli al 100% a partire dall'allegagione, hanno riscontrato concentrazioni di componenti aromatici liberi e glicosilati maggiori quasi del 20% rispetto al controllo e ad un test ombreggiato al 50%, similmente a quanto riscontrato circa il contenuto di proantocianidine e flavanoli. Prove su Riesling su due test paralleli, uno ombreggiato al 100% dall'invasatura alla vendemmia e l'altro per 34 giorni dall'invasatura, e poi riesposto al sole fino a maturazione, rimarcano la più stretta dipendenza dalla luce della produzione di flavonoli: l'espressione dell'enzima chiave del loro metabolismo (*VvFLS1*) si attesta praticamente a zero durante l'ombreggiamento, mentre aumenta significativamente nel secondo test, una volta riesposto alla luce (Friedel et al., 2016). Il metabolismo delle componenti aromatiche invece non sembra avere un rapporto così marcatamente correlato con l'esposizione alla luce.

VIII. Il caolino per contrastare gli effetti del cambiamento climatico in Viticoltura.

Il caolino ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, caolino ingegnerizzato) è un fillosilicato di alluminio chimicamente inerte classificato come materiale antitranspirante riflettente, che ricopre la vegetazione con un film di nanoparticelle (AbdAllah, 2019) ed è ammesso anche in agricoltura biologica. Espleta la sua azione limitando in modo meccanico la traspirazione della pianta, così come il pinolene; altri composti invece sono attivi dal punto di vista biochimico, quali ad esempio il chitosano, che determina la chiusura degli stomi modificando il metabolismo dell'acido abscissico.

Proposto in viticoltura per contrastare la diffusione della malattia di Pierce (Tubajika et al., 2007), è stato successivamente valutato per la possibilità di limitare gli effetti dannosi di eccessivi stress termici e radiativi, poiché, formando un film superficiale di colore bianco, riflette un'alta percentuale della radiazione ultravioletta e infrarossa, e, in misura minore, la radiazione fotosinteticamente attiva, risultando quindi efficace nel diminuire la temperatura degli organi vegetali e, mitigando la fotoinibizione, migliora la fotosintesi in caso di condizioni di stress (Shellie e King, 2013). Oltre ad abbassare le temperature della pianta, diminuire la conduttanza stomatica, proteggere il fotosistema II dall'inibizione e le foglie da un'eccessiva radiazione solare (Dinis et al., 2017), il caolino influisce su diversi aspetti qualitativi degli acini, quali la concentrazione di solidi solubili, che tende a diminuire in viti trattate, e metaboliti secondari quali antociani ed altri flavonoidi, che invece tendono a risultare più alti (Shellie e King, 2013).

In uno studio comparativo di tre anni su caolino e pinolene, condotto in Calabria da Brillante et al. (2016) su Cabernet Sauvignon trattato a partire dall'allegagione, sebbene il caolino abbia un minor impatto del pinolene nell'abbassare la temperatura fogliare, il tasso fotosintetico tra i due test risulta simile, ma il caolino dimostra apportare una migliore efficienza d'uso dell'acqua in misura significativa, specialmente in occasione di periodi siccitosi, e ciò si verifica grazie a una maggiore riduzione della conduttanza stomatica, sia rispetto a pinolene che al controllo. Il test trattato con caolino ha dimostrato di avere anche la più alta concentrazione di flavonoidi totali e di antociani, seguito dal controllo e dal pinolene, tant'è che all'analisi organolettica il vino ottenuto dalle piante trattate con caolino è stato leggermente preferito al controllo, risultando invece largamente più interessante del vino ottenuto dalle viti trattate con pinolene.

Cataldo et al. (2022), trattando con caolino Sauvignon Blanc ogni 10 giorni a partire dall'invaiaatura, hanno ottenuto alla vendemmia differenze non particolarmente significative

per quanto riguarda le rese e il pH, mentre l'acidità totale e i precursori tiolici sono risultati più elevati e la concentrazione di solidi solubili totali considerevolmente più contenuta. Durante la stagione ha permesso di abbassare la temperatura della vegetazione di circa 5°C rispetto al controllo, confermando un tasso di fotosintesi netta più elevato in condizioni di eccessiva radiazione, poiché è risultato efficace nel preservare l'efficienza del fotosistema II.

Per rinforzarne il ruolo di valida strategia flessibile contro gli effetti di radiazioni eccessive e siccità, Conde et al. (2018) hanno dimostrato che il caolino innesca un incremento nella sintesi, nella concentrazione e nella capacità di trasporto del saccarosio nelle foglie, ed inoltre le foglie risultano più ricche di acidi organici ed aminoacidi.

Per i motivi sopracitati, lo scopo di questo studio è stato quello di analizzare gli effetti di due strategie flessibili per mitigare le conseguenze del cambiamento climatico in viticoltura, ovvero l'applicazione di reti ombreggianti e l'irrorazione di caolino, e di valutarne l'influenza sulla capacità fisiologica, produttiva e qualitativa del Verdicchio Bianco.

CAPITOLO 1

MATERIALI E METODI

1.1 Il vigneto

La sperimentazione è stata condotta nella stagione 2022 in un vigneto sito a San Paolo di Jesi (AN), in via Follonica. L'impianto risale al 2017, e le talee, della cultivar Verdicchio Bianco, sono innestate su portinnesto 420A. Il vigneto (Figura 1.1.1), di proprietà dell'Azienda Agricola Edoardo Dottori, è condotto secondo i dettami dell'agricoltura biologica e rientra nell'area "Classica" della denominazione d'origine "Verdicchio dei Castelli di Jesi". I filari hanno un orientamento Nord-Sud e distano 3 m l'uno dall'altro; le viti sono allevate a Guyot, con distanza lungo la fila di 1,1 m. Il capo a frutto è posto a 0,9 m dal suolo, la prima coppia di fili è a 0,25 m sopra il filo di banchina, sopra vi è un altro filo posto a 0,20 m e un'altra coppia di fili a 0,35 m dall'ultimo filo. I pali sono alti 1,80 m.



Figura 1.1.1. Vigneto in cui si è svolta la sperimentazione

1.2 Scopo, tecniche e schema sperimentale

Sono state sperimentate due strategie flessibili, le reti ombreggianti ed il caolino usato come sostanza filmogena, per valutarne le ripercussioni fisiologiche, qualitative e produttive su Verdicchio Bianco.

Le reti sono antigrandine in colore nero (Valente Srl. Padova, Italia), realizzate in polietilene ad alta densità (HDPE) con tessitura monofilo e maglia indeformabile rettangolare di 2,8x8 mm; la capacità ombreggiante è del 15%. La rete è caratterizzata ad un'alta resistenza meccanica, e la sua durata è garantita per 10 anni. Il 7 giugno 2022, una volta conclusa l'allegagione, la rete è stata posta lateralmente alle chiome delle viti e mantenuta fino alla vendemmia, con lo scopo di proteggere la zona produttiva durante i mesi estivi più caldi (Figure 1.2.1, 1.2.2 e 1.2.3).



Figura 1.2.1. Filare di Verdicchio protetto da rete ombreggiante.



Figura 1.2.2. Viti di Verdicchio protette da rete ombreggiante.



Figura 1.2.3. Grappolo di Verdicchio protetto da rete ombreggiante.

Il caolino è stato applicato due volte, il 1° luglio e il 1° agosto, rispettivamente nella dose di 8 kg ha⁻¹ e 25 kg ha⁻¹. Il trattamento è stato eseguito su entrambi i lati del filare, coprendo l'intera vegetazione.

Nelle figure 1.2.4, 1.2.5 e 1.2.6 si può notare chiaramente l'impatto visivo del caolino, nonostante le foto siano state scattate 22 giorni dopo la sua applicazione.



Figura 1.2.4. Filare di Verdicchio trattato con Caolino (foto del 23 agosto).



Figura 1.2.5. Viti di Verdicchio trattate con caolino (foto del 23 agosto).



Figura 1.2.6. Grappoli di Verdicchio trattati con caolino (foto del 23 agosto).

Le due tecniche sopracitate sono state applicate a due filari distinti, ma aventi le medesime caratteristiche, mentre un terzo filare, peculiare ai precedenti, è stato utilizzato come controllo. I filari campione, lunghi 115 m, presentano 105 piante; tra queste sono state scelte 8 viti nella parte bassa del filare, 8 nella porzione intermedia ed infine 8 nella parte alta del vigneto, per un totale di 24 viti campione per filare, sia per la tesi controllo, che per la strategia reti e per quella caolino.

1.3 Rilievi effettuati

Rilievi Fisiologici. Durante la stagione vegetativa 2022 è stata valutata la capacità fotosintetica delle viti di Verdicchio, con misure a cadenza di circa due settimane le une dalle altre. Nello specifico, sono stati seguiti rilievi di conduttanza stomatica (gs) e fotosintesi netta (Pn) in date 27/06, 11/07, 25/07, 2/08 e 26/08; in data 27/06, non essendo stato ancora applicato il caolino, il campionamento si è svolto solo su reti e controllo. Le misure sono state effettuate su 12 foglie mature (4 per blocco) scelte nella fascia mediana del germoglio, utilizzando un analizzatore portatile di gas a infrarossi (IRGA, Infra-Red-Gas-Analyser) a sistema aperto, modello LCA4 (ADC BioScientific Hoddesdon, Inghilterra). Le analisi fatte con questo strumento permettono di conoscere una moltitudine di informazioni riguardo la porzione di foglia in esame (6,25 cm²) e i gas che scambia con l'atmosfera in seguito ai processi di fotosintesi, respirazione e traspirazione. Una piccola porzione fogliare viene posizionata all'interno di una camera isolata ermeticamente, con una finestra di 6,25 cm² ed una pompa che controlla e genera un flusso d'aria regolato a 350 ml/min. Lo strumento aspira l'aria atmosferica sopra le chiome delle viti, grazie all'ausilio di una canna da pesca cava, in modo che la CO₂ aspirata sia il meno possibile influenzata dalla respirazione del vigneto stesso e dai gas emessi dagli operatori in campo, poi tramite una pompa la invia sia alla camera di assimilazione, ove è alloggiata la foglia, sia all'IRGA. L'aria in uscita dalla camera di assimilazione risulterà privata di una frazione di CO₂ in caso di fotosintesi, o arricchita in caso di respirazione. L'IRGA confronta la concentrazione di CO₂ dell'aria in uscita dalla camera di assimilazione con quella dell'aria atmosferica e trasferisce tale valore ad un data logger/processor, che è in grado di memorizzare e rilevare anche altri parametri come: la conduttanza stomatica, la luce incidente nel momento della misura, la traspirazione della foglia, la temperatura, il valore della CO₂ nella camera sottostomatica e la temperatura della macchina che ci simula il valore della temperatura esterna. (Figura 1.3.1)

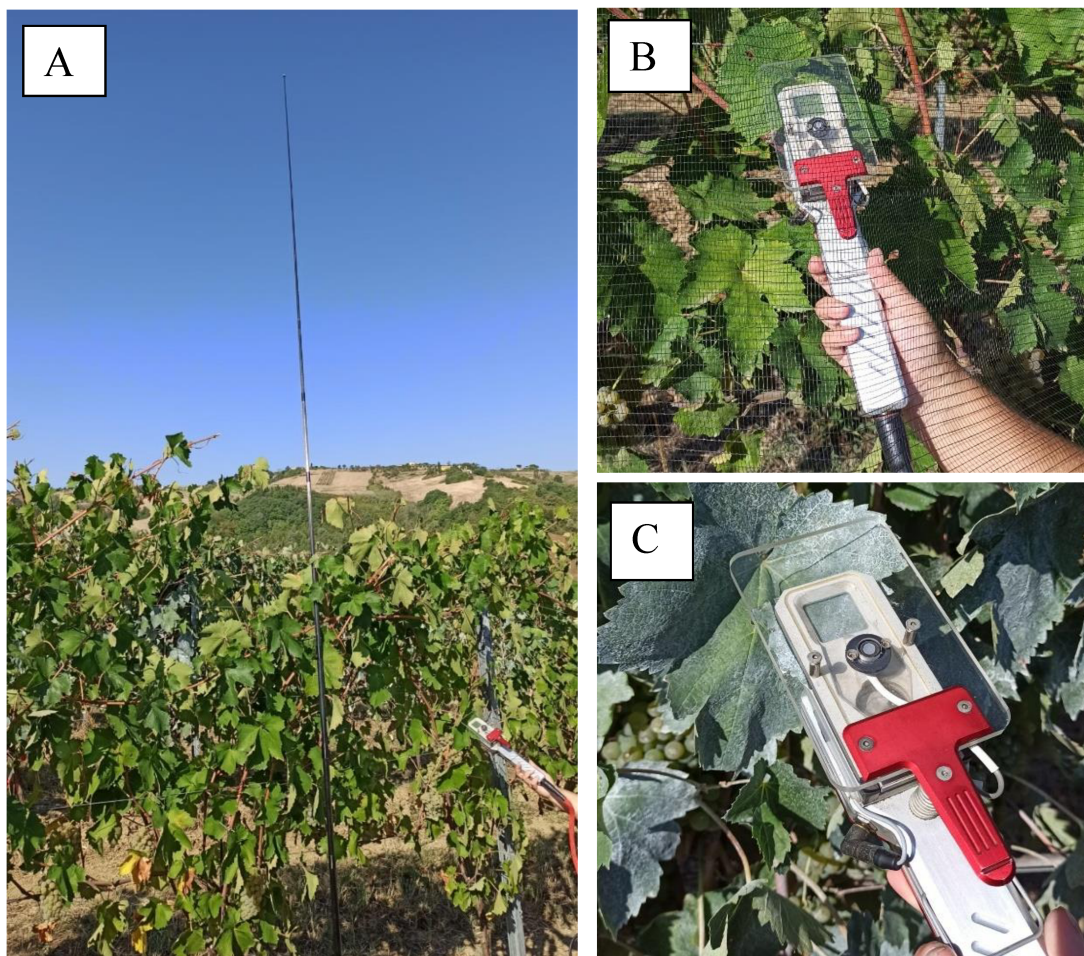


Figura 1.3.1. Analisi fotosintesi e conduttanza stomatica su viti controllo (A), con applicazione delle reti (B) e trattate con caolino (C).

Rilievi qualitativi. Verso la fine di luglio, una volta iniziato il processo di invaiatura, sono iniziati i campionamenti delle uve, a cadenza settimanale e prolungati fino alla vendemmia, per determinarne la concentrazione zuccherina, pH e acidità. Nello specifico gli acini sono stati campionati il 26/07, 2/08, 8/08, 16/08, 22/08 e il 29/08, data in cui si svolta la vendemmia.

Durante la fase di maturazione delle uve il campionamento si è svolto prelevando 3 campioni di 100 acini per tesi, uno per la parte bassa, uno per la parte media ed uno per la parte alta, raccogliendoli da diverse parti del grappolo in modo casuale, per rendere il campione quanto più possibile rappresentativo, utilizzando forbicine da unghie ma facendo attenzione a non creare ferite agli acini stessi. Una volta in laboratorio, dopo essere stati pesati, al fine di calcolarne il peso medio, gli acini sono stati pigiati per farne fuoriuscire il succo. Il succo ottenuto è stato utilizzato per le analisi compositive del mosto: concentrazione zuccherina, pH e acidità titolabile, rispettivamente utilizzando un rifrattometro digitale a

compensazione di temperatura Maselli LR-01 (Maselli Misure, Parma, Italia), un pHmetro Crison con elettrodo di vetro (Crison Instruments, Barcellona, Spagna) ed un titolatore Crison (Crison Instruments) usando 0,25 N di NaOH fino a pH 7, esprimendo quindi il dato in g l⁻¹ di acido tartarico equivalente.

Alla vendemmia, i grappoli sono stati valutati per la loro compattezza, contati e pesati con un dinamometro HS-15K (capacità 15 kg x 0,01 kg, UWE (Universal Weight Electronics) Laageinde, 13b 4191 NR Geldermalsen, THE NETHERLANDS). Sotto campioni di 100 acini sono stati prelevati in tutte le viti campione ed analizzati in laboratorio.

I dati sono stati rielaborati per realizzare delle curve di maturazione per ogni parametro, nelle quali sono state confrontate le tre tesi, e per valutare il livello di significatività osservato, tramite One-way ANOVA (ANalysis Of VAriance) con post-hoc Tukey HSD (Honestly Significant Difference).

1.4 Dati meteorologici

I dati meteo dell'anno 2022 sono stati scaricati dal sito della Protezione Civile (<https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Progetti-e-Pubblicazioni/Meteo#Richiesta-dati>) e sono relativi alla stazione di Moie (AN): per le temperature è stato utilizzato il sensore afferente al codice 3022, per le precipitazioni il sensore con codice 1263.

1.4.1 *Temperature*

Stando ai dati relativi alla stazione di Moie (codice sensore 3022), dal 20 maggio fino a fine mese le temperature massime registrate hanno superato 6 volte i 30°C, con punta di 32,6°C il giorno 23. Nel mese di giugno sono state 22 le volte in cui la temperatura massima ha superato i 30°C, con picco di 36,9°C il 27 giugno, mentre a luglio i 30°C sono stati superati ben 26 volte, con massima assoluta di 40,2°C in data 23 luglio; nella stessa data e nel giorno seguente, anche la temperatura media ha superato i 30°C. Nel mese di agosto, fino alla data di vendemmia (29 agosto) la temperatura massima ha superato i 30°C per 22 volte, con punta di 35,6°C il 6 Agosto.

È stata presa come riferimento la temperatura di 30°C poiché da essa inizia un progressivo calo del tasso fotosintetico, associato all'inibizione del fotosistema II (Georgieva et al., 2000), e temperature così elevate possono sì portare all'ottenimento di acini con un'alta concentrazione di solidi solubili, ma anche elevati tassi di traspirazione, e in questa circostanza le due cose potrebbero essere interconnesse (De Orduna, 2010; Ju et al., 2018).

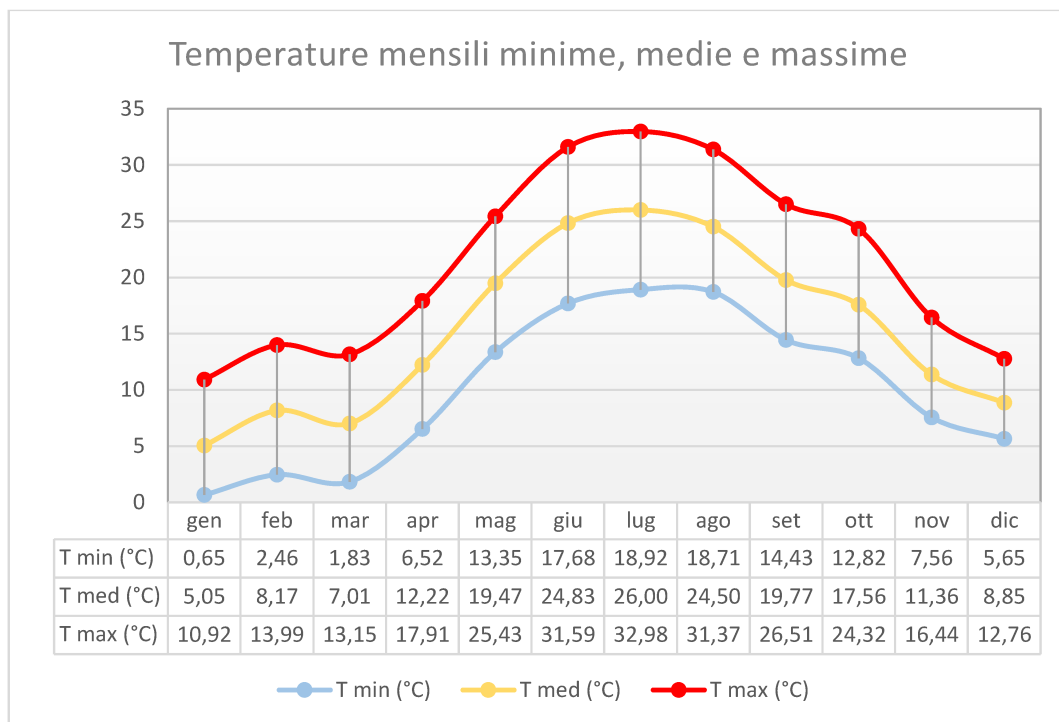


Figura 1.4.1.1. Temperature mensili minime, medie e massime registrate dalla stazione di Moie (sensore 3022) nell'anno 2022.

Per dare un'ulteriore caratterizzazione climatica è stato calcolato anche l'Indice di Amerine-Winkler, riportato in tabella 1.4.1.1 come gradi giorno (GG) cumulati mensilmente e totali; alla data di vendemmia (29/08) la sommatoria termica si attesta a 1735,05 GG.

Tabella 1.4.1.1. Indice di Amerine-Winkler (Gradi Giorno) cumulati mensilmente e totali, nell'anno 2022.

GG	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott
Mensile	78,81	293,5	444,85	495,94	449,61	289,6	234,3
Totale	78,81	372,31	817,16	1313,1	1762,71	2052,31	2286,61

Le notti tropicali registratesi nel 2022 da maggio a settembre, sono risultate 23, con ben 11 notti tropicali nel mese di luglio (Tabella 1.4.1.2).

Tabella 1.4.1.2. Notti tropicali (N.T.) nell'anno 2022, stazione di Moie (codice sensore 3022).

Mese	N.T.
Maggio	1
Giugno	6
Luglio	11
Agosto	5

Inoltre, fino alla vendemmia (29 agosto) si sono riscontrati 106 giorni estivi (Tabella 1.4.1.3)

Tabella 1.4.1.3. Giorni estivi (G.E.) nell'anno 2022, stazione di Moie (codice sensore 3022).

Mese	G.E.
Maggio	18
Giugno	28
Luglio	31
Agosto	29

1.4.2 Precipitazioni

Il 2022, nelle Marche, è stato un anno relativamente asciutto. Stando ai rilevamenti della stazione di Moie (sensore 1263), le precipitazioni cumulate nel 2022 sono 749,22 mm, superiori di 123,2 mm rispetto alla media annuale regionale. La loro ripartizione mensile è riportata in Figura 1.4.2.1.

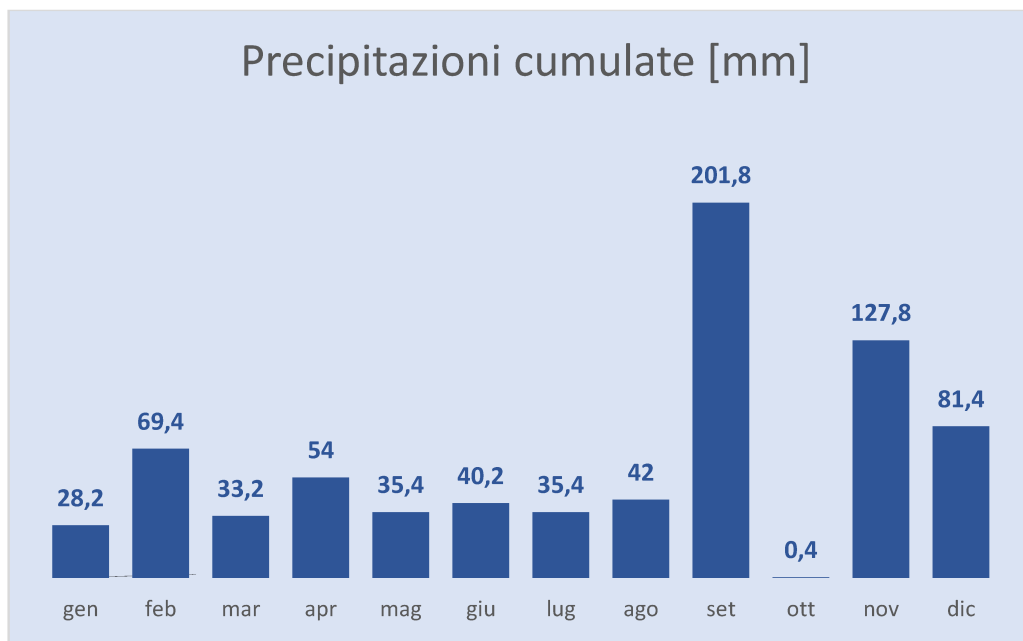


Figura 1.4.2.1. Precipitazioni cumulate mensilmente nel 2022 (stazione di Moie, codice sensore 1263).

Dal 1° aprile al 29 agosto sono 34 i giorni in cui si sono verificate delle precipitazioni, per un totale di 203,6 mm di piogge caduti al suolo. È da segnalare che dei 40,2 mm caduti a giugno, 36,4 mm sono stati registrati in un solo giorno, il 9 giugno. L'annata, nel complesso, si può definire asciutta.

Tabella 1.4.2.1. Distribuzione e intensità degli eventi piovosi dal 1° aprile al 29 agosto 2022.

mm (giorno)	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto
gg < 1	4	1	1	1	0
1 < gg < 10	3	6	2	4	5
10 < gg < 30	3	1	0	1	1
gg > 30	0	0	1	0	0
TOT	10 giorni	8 giorni	4 giorni	6 giorni	6 giorni
mm Tot	54	35,4	40,2	35,4	38,6

Capitolo 2 RISULTATI E DISCUSSIONE

2.1 Fotosintesi e conduttanza stomatica

L'andamento della fotosintesi netta (Pn) e della conduttanza stomatica (gs) sono riportati nelle Figure 2.1.1 e 2.1.2. Nelle Tabelle 2.1.1 e 2.1.2 sono riportati i dati e il tasso di variazione della fotosintesi netta e della conduttanza stomatica di rete e caolino rispetto al controllo.

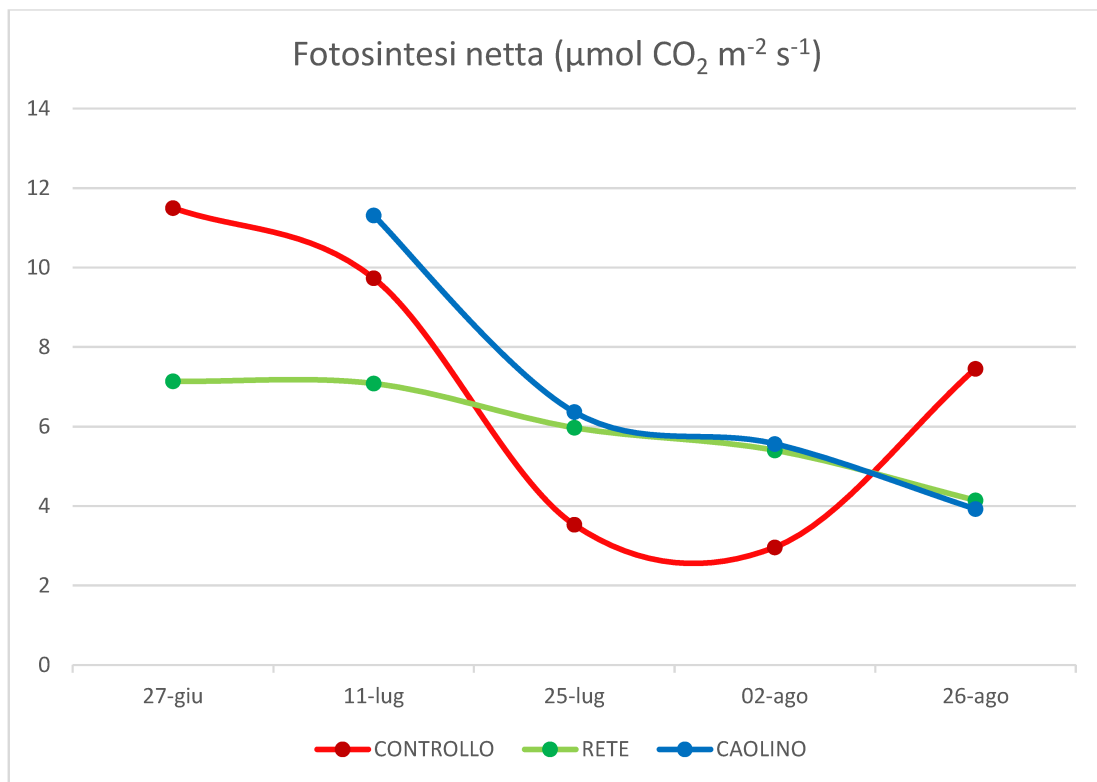


Figura 2.1.1 Andamento della fotosintesi netta di viti di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino.

Tabella 2.1.1. Dati e tasso di variazione della fotosintesi netta di viti di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo.

P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	27-giu	11-lug	25-lug	02-ago	26-ago
CONTROLLO	11,5	9,73	3,53	2,96	7,46
RETE	7,14	7,08	5,97	5,4	4,15
	-37,9%	-27,2%	+69,1%	+82,4%	-44,4%
CAOLINO	-	11,31	6,37	5,57	3,93
	-	+16,2%	+80,5%	+88,2%	-47,3%

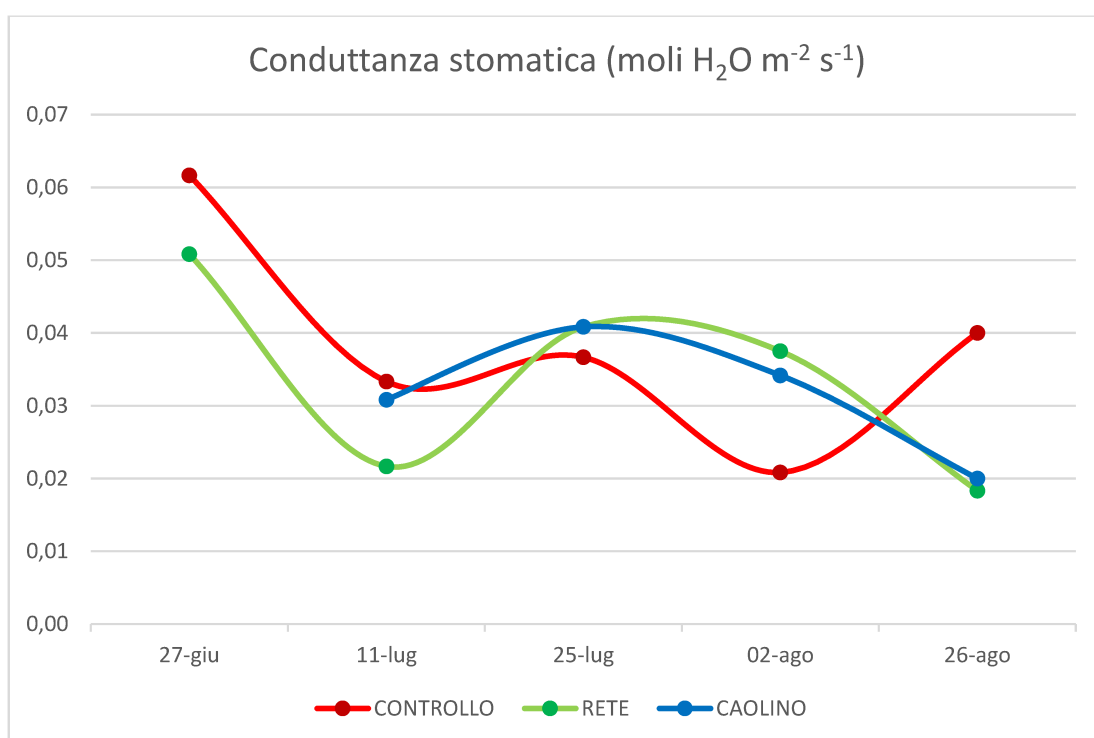


Figura 2.1.2. Andamento della conduttanza stomatica di viti di Verdicchio nelle tesi di controllo, reti e caolino

Tabella 2.1.2. Dati e tasso di variazione della conduttanza stomatica di viti di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo.

g_s ($moli\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$)	27-giu	11-lug	25-lug	02-ago	26-ago
CONTROLLO	0,06	0,03	0,037	0,021	0,04
RETE	0,05	0,02	0,041	0,038	0,018
	-16,7%	-33,3%	+9,8%	+81%	-55%
CAOLINO	-	0,03	0,041	0,034	0,02
	-	0	+9,8%	+61,9%	-50%

Dopo il primo rilievo (27 giugno) ha inizio un calo marcato della fotosintesi delle viti controllo, interpretabile come l'instaurarsi di una condizione generale di stress. Infatti, il mese di giugno è stato parecchio caldo, con eventi piovosi circoscritti nei giorni 8, 9 e 10 giugno, e con ben 36,4 mm di pioggia caduti al suolo in data 9 giugno, per un totale di 40,2 mm (Tabella 1.4.2.2); dopo di che non si sono registrate precipitazioni fino a luglio, mese nel quale sono state comunque poche e mal distribuite, mentre le temperature sono rimaste elevate. Ne risulta, quindi, che rispetto alle viti trattate con caolino o ombreggiate da reti, il controllo ha ridotto progressivamente l'attività fotosintetica, e il dato trova riscontro confrontandolo con quello della conduttanza stomatica, per poi riprendersi verso fine agosto, quando lo stress termico si è affievolito e alcune precipitazioni ben distribuite hanno verosimilmente consentito alla pianta di ristabilire uno stato idrico favorevole. Di fatti, tra il rilievo del 2 agosto e quello del 26 agosto sono caduti 15,8 mm di pioggia, dilazionati in modo piuttosto omogeneo in 4 giorni distinti.

La capacità fotosintetica delle viti trattate con caolino o protette da reti mostrano invece un andamento più costante rispetto al controllo, con valori talvolta superiori. Se inizialmente, almeno per le reti, si evidenzia un minor tasso fotosintetico, dato dalla natura intrinseca dell'ombreggiamento, che limita la fotosintesi, all'instaurarsi di una condizione di stress nel controllo, rete e caolino denotano invece una maggiore attività fotosintetica, superiore rispetto al controllo di 69,12% e 82,43% l'uno, 80,45% e 88,18% l'altro, con riferimento ai rilevamenti del 25 luglio e 2 agosto, quando le viti controllo presentavano valori di fotosintesi intorno a $3\ \mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ (Figura 2.1.1, Tabella 2.1.2). Per le due date, rispetto alle viti controllo, la conduttanza stomatica delle viti protette con le reti è risultata più alta del 9,76% e 80,95%, mentre, per quelle trattate con caolino, del 9,76% e 61,90% (Figura 2.1.2 e Tabella 2.1.2). Questa differenza è interpretabile come la capacità di queste due tecniche di alleviare, pur

parzialmente, lo stress idrico, termico e radiativo della pianta, che dunque mantiene una maggiore apertura stomatica e mostra una miglior efficienza fotosintetica rispetto ad un controllo non trattato.

La miglior efficienza fotosintetica riscontrata nelle viti ombreggiate rispetto al controllo nei periodi di maggiore stress non trova riscontro con le sperimentazioni di Heo-Cheng Lu et al. (2021) e di Cataldo et al. (2022), in cui la fotosintesi netta delle viti ombreggiate è sempre inferiore a quella del controllo, ma va preso in considerazione che l'ombreggiamento applicato in questi due esperimenti è decisamente più importante. Gli studi su caolino di Shellie e King (2013) e Cataldo et al. (2022) invece confermano il maggior tasso fotosintetico delle viti trattate nei confronti del controllo nei periodi di stress.

Tra le viti ombreggiate e quelle trattate con caolino non risultano invece importanti differenze, eccezion fatta per il rilievo dell'11 luglio, in cui il caolino mostra nettamente una maggiore conduttanza stomatica (+50%) e fotosintesi netta (+59,75%). I tassi di variazione di P_n e g_s nelle viti trattate ed ombreggiate sono riportati nelle Tabelle 2.1.3 (P_n) e 2.1.4 (g_s).

Tabella 2.1.3. Tasso di variazione della fotosintesi netta nelle viti trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate.

P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	11-lug	25-lug	02-ago	26-ago
RETE	7,08	5,97	5,4	4,15
CAOLINO	11,31	6,37	5,57	3,93
	+59,8%	+6,7%	+3,2%	-5,3%

Tabella 2.1.4. Tasso di variazione della conduttanza stomatica nelle viti trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate.

g_s ($\text{moli H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	11-lug	25-lug	02-ago	26-ago
RETE	0,02	0,041	0,038	0,018
CAOLINO	0,03	0,041	0,034	0,02
	+50%	0	-10,5%	+10%

2.2 Solidi solubili totali.

L'andamento dell'accumulo di solidi solubili durante la fase di maturazione nelle viti oggetto di studio è riportato in Figura 2.2.1, mentre in Tabella 2.2.1 sono riportati i dati relativi alla concentrazione zuccherina delle uve nelle tre tesi per ogni data di campionamento, le differenze di reti e caolino con il controllo, ed il loro livello di significatività osservato.

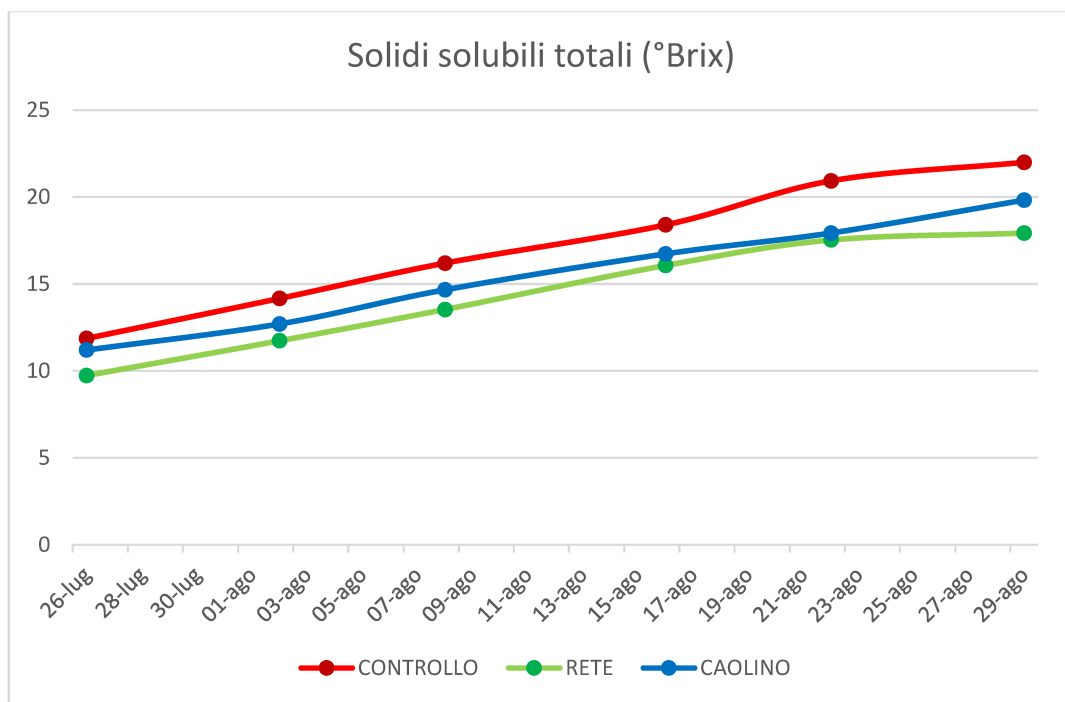


Figura 2.2.1. Confronto delle curve di maturazione dei solidi solubili totali nelle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino.

Tabella 2.2.1. Dati, variazione in termini di concentrazione zuccherina (°Brix) e tasso di variazione nelle uve di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo, e livello di significatività osservato.

<i>Solidi solubili totali</i>		26-lug	02-ago	08-ago	16-ago	22-ago	29-ago
CONTROLLO	°Brix	11,87	14,17	16,20	18,40	20,93	22,00
RETE	°Brix	9,73	11,73	13,53	16,07	17,53	17,93
	Δ (°Brix)	-2,14	-2,44	-2,67	-2,33	-3,40	-4,07
	Variatz.(%)	-18%	-17,2%	-16,5%	-12,7%	-16,2%	-18,5%
	p-value	>0,05	>0,05	0,005	0,01	0,018	0,001
CAOLINO	°Brix	11,2	12,7	14,67	16,73	17,93	19,83
	Δ (°Brix)	-0,67	-1,37	-1,53	-1,67	-3,00	-2,17
	Variatz.(%)	-5,6%	-9,7%	-9,4%	-9,1%	-14,3%	-9,9%
	p-value	>0,05	>0,05	>0,05	0,045	0,031	0,001

Tabella 2.2.2. Temperatura media, la media delle temperature massime, i gradi giorno e le precipitazioni cumulate tra i vari campionamenti

Periodo	26-lug/1-ago	02/07-ago	08/15-ago	16/21-ago	22/28-ago
T med	25,81°C	26,58°C	23,87°C	25,09°C	22,94°C
T max	32,66°C	33,52°C	29,52°C	31,52°C	30,24°C
GG	110,68	99,49	93,93	90,52	90,56
Piogge	20,8 mm	0	11,8 mm	4,0 mm	22,8 mm

Le viti controllo mostrano per tutto il periodo della maturazione la più alta concentrazione di solidi solubili totali, ma si può notare che il gap, specialmente con rete, la quale rileva costantemente i valori più bassi, tende a ridursi fino al 16 agosto (Figura 2.2.2), fatto che può esser motivato dalla minor efficienza fotosintetica del controllo riscontrata a cavallo tra luglio ed agosto. Dalla prima decade di agosto verosimilmente le viti controllo tornano man mano a riacquisire uno stato idrico favorevole, riprende quindi una buona attività fotosintetica, superiore rispetto alle altre due tesi, facendo in modo che il divario con queste ultime, torni ad ampliarsi.

Alla vendemmia, in data 29 agosto, le viti controllo hanno una concentrazione di solidi solubili totali di 22 °Brix, superiore di 2,17 °Brix rispetto alle viti trattate con caolino e di 4,07 °Brix

rispetto a quelle ombreggiate da reti, vale a dire, rispettivamente, maggiore del 10,94% e del 22,70%; entrambe le differenze sono da ritenersi statisticamente significative, con p-value < 0,01 (Tabella 2.2.1), e trovano riscontro con i risultati ottenuti da Shellie e King (2013) con caolino, da Cataldo et al. (2022) con caolino e reti, e da Hao-Cheng Lu et al. (2021) con reti.

Anche tra le viti soggette a rete e caolino sussistono delle discrepanze. Le viti trattate con caolino mostrano in ogni misurazione valori più alti. La differenza al primo campionamento (26 luglio) può essere imputabile alla maggior efficienza fotosintetica riscontrata su caolino nella prima metà di luglio; tuttavia, in seguito le differenze tendono ad appiattirsi, toccando il minimo in data 22 agosto (Figura 2.2.1). Nonostante ciò, mentre tra quest'ultimo campionamento e la vendemmia nelle viti ombreggiate da rete la concentrazione di solidi solubili totali è aumentata leggermente (+0,4 °Brix), nelle viti trattate con caolino l'incremento zuccherino è più elevato e porta all'ottenimento di una concentrazione di solidi solubili totali di 19,83 °Brix, ovvero 1,9 °Brix superiore rispetto alle viti con rete (+10,6%); il dato è statisticamente significativo, con p-value < 0,01 (Tabella 2.2.1). Ciò può esser motivato considerando che la temperatura media intercorsa tra l'ultimo campionamento e la vendemmia non è molto elevata (22,94°C), ma nella seconda metà di agosto i diversi eventi piovosi potrebbero aver parzialmente dilavato il film protettivo di caolino, che dunque, nonostante le temperature non molto elevate, è riuscito ad accumulare un maggior quantitativo di solidi solubili.

Le differenze sulla concentrazione zuccherina ad ogni rilievo tra le viti trattate con caolino e quelle ombreggiate, e il livello di significatività osservato, sono riportati in Tabella 2.2.3.

Tabella 2.2.2. Differenze in termini di concentrazione zuccherina (°Brix) e tasso di variazione delle uve di Verdicchio trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate, e livello di significatività osservato.

<i>Solidi solubili totali</i>		26-lug	02-ago	08-ago	16-ago	22-ago	29-ago
RETE	°Brix	9,73	11,73	13,53	16,07	17,53	17,93
CAOLINO	°Brix	11,2	12,7	14,67	16,73	17,93	19,83
	Δ (°Brix)	+1,47	+0,97	+1,14	+0,66	+0,4	+1,9
	Variaz.(%)	+15,1%	+8,3%	+8,4%	+4,1%	+2,3%	+10,6%
	p-value	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	0,005

2.3 pH.

L'andamento del pH delle uve di Verdicchio nelle tre tesi è riportato in Figura 2.3.1, mentre in Tabella 2.3.1 sono riportati i dati relativi al pH delle uve nelle tre tesi per ogni data di campionamento, le differenze e il tasso di variazione riscontrati nel confronto tra i dati relativi alle uve reti, caolino e controllo, ed il livello di significatività osservato.

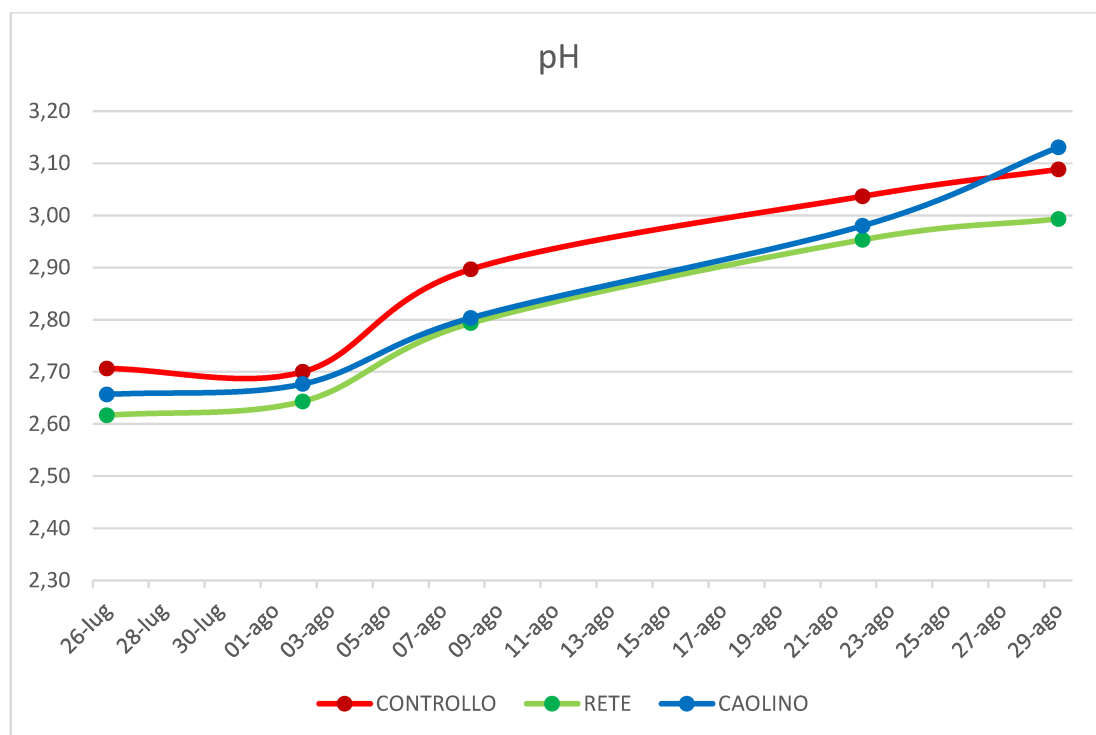


Figura 2.3.1. Confronto delle curve di maturazione del pH delle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino.

Tabella 2.3.1. Dati, differenze di pH e tasso di variazione nelle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino, e livello di significatività osservato.

<i>pH</i>		26-lug	02-ago	08-ago	22-ago	29-ago
CONTROLLO	pH	2,71	2,7	2,9	3,04	3,09
RETE	pH	2,62	2,64	2,79	2,95	2,99
	$\Delta(\text{pH})$	-0,09	-0,06	-0,11	-0,09	-0,1
	Variaz.(%)	-3,3%	-2,2%	-3,8%	-3%	-3,2%
	p-value	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	0,002
CAOLINO	pH	2,66	2,68	2,8	2,98	3,13
	$\Delta(\text{pH})$	-0,05	-0,02	-0,1	-0,06	+0,04
	Variaz.(%)	-1,9%	-0,7%	-3,5%	-2%	+1,3%
	p-value	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

Le uve delle viti controllo hanno mostrato il pH più elevato lungo tutta la fase di maturazione, ad eccezione della vendemmia. La maggiore differenza di pH nelle uve controllo in confronto a quelle provenienti da rete e caolino si verifica in data 8 agosto, quando il pH del controllo misura +0,11 rispetto a rete e +0,1 rispetto a caolino. Tale rilievo è preceduto da un intervallo temporale in cui si sono riscontrate le temperature più elevate ed in cui non si sono registrate precipitazioni (Tabella 2.2.2). È importante notare che, nel suddetto periodo, la differenza tra caolino e controllo aumenta in modo rilevante, anche se all'analisi del p-value la differenza non è statisticamente significativa; tuttavia, come per la concentrazione di solidi solubili totali, anche in questo caso il pH delle uve caolino aumenta tra l'ultimo campionamento (22 agosto) e la vendemmia (29 agosto), dove si riscontra un valore di 3,13, vale a dire +0,04 rispetto al controllo, statisticamente non significativo (Tabella 2.3.1). Le uve provenienti dalle viti ombreggiate da rete, invece, mantiene costantemente il pH più basso delle tre tesi, e alla vendemmia risulta pari a 2,99, ovvero -0,1 rispetto al controllo, differenza statisticamente significativa, con p-value < 0,01. L'ottenimento nella tesi reti di un pH inferiore al controllo è concorde con i risultati di Heo-Cheng Lu et al. (2021), ma non trova riscontro con Cataldo et al. (2022), in cui le differenze non sono statisticamente significative; ugualmente, Cataldo et al. (2022) non rinviene differenze significative in termini di pH tra le uve delle viti controllo e quelle delle viti trattate con caolino.

Le differenze tra il pH delle uve rete e caolino sono, invece, riportate in Tabella 2.3.2. Come anticipato, le due tesi mostrano un andamento di pH abbastanza simile nel corso della maturazione, con valori che non si discostano più di tanto, ma alla vendemmia le uve caolino

presentano un pH pari a 3,13, +0,14 rispetto a quelle di rete, differenza statisticamente significativa, con p-value < 0,01.

Tabella 2.3.2. Differenze in termini di pH e tasso di variazione delle uve di Verdicchio trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate, e livello di significatività osservato.

<i>pH</i>		26-lug	02-ago	08-ago	22-ago	29-ago
RETE	pH	2,62	2,64	2,79	2,95	2,99
CAOLINO	pH	2,66	2,68	2,8	2,98	3,13
	$\Delta(\text{pH})$	+0,04	+0,04	+0,01	+0,03	+0,14
	Variaz.(%)	+1,5%	+1,5%	+0,4%	+1%	+4,7%
	p-value	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	0,001

2.4 Acidità titolabile

L'andamento dell'acidità titolabile nelle uve delle tre tesi è riportato in Figura 2.4.1, mentre in Tabella 2.4.1, sono riportati i dati relativi all'acidità delle uve nelle tre tesi per ogni data di campionamento, le differenze e il tasso di variazione risultanti dal confronto tra i dati relativi alle uve reti, caolino e controllo, ed il livello di significatività osservato.

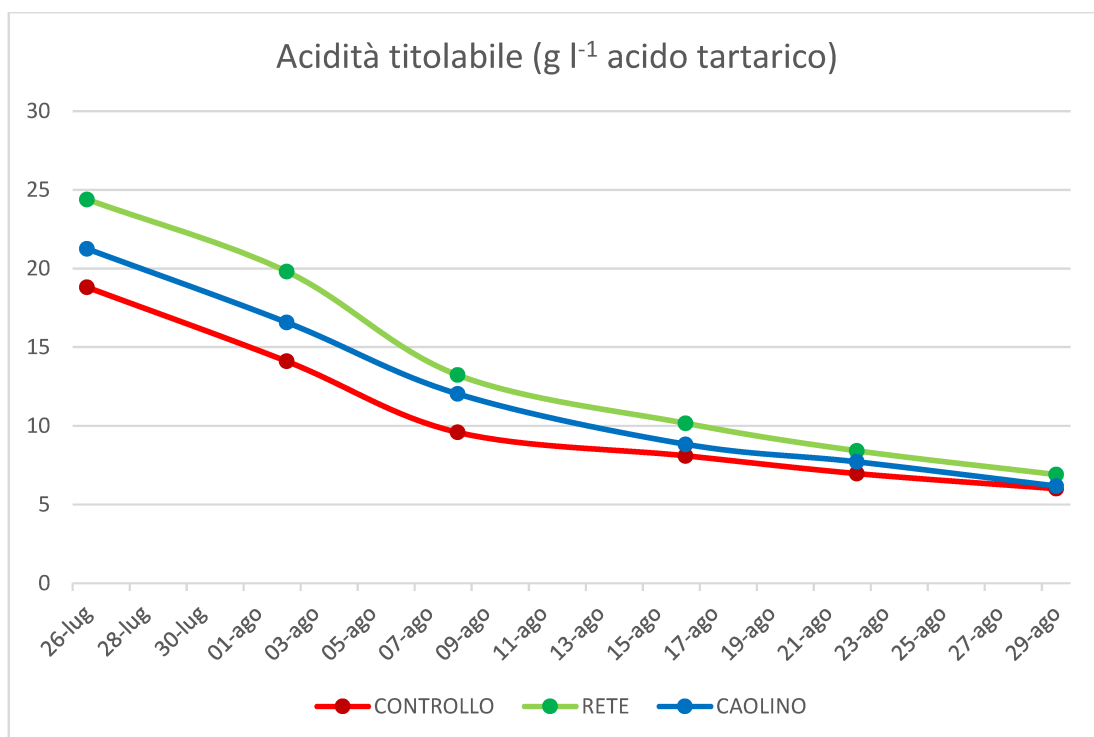


Figura 2.4.1. Confronto delle curve di maturazione dell'acidità titolabile delle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino.

Tabella 2.4.1. Dati, variazioni dell'acidità titolabile (g l^{-1}) e tasso di variazione delle uve di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo, e livello di significatività osservato.

Acidità titolabile (g l^{-1})		26-lug	02-ago	08-ago	16-ago	22-ago	29-ago
CONTROLLO	AT	18,81	14,11	9,59	8,1	6,97	6,01
RETE	AT	24,4	19,82	13,23	10,17	8,42	6,9
	$\Delta(\text{AT})$	+5,59	+5,71	+3,64	+2,07	+1,45	+0,89
	Variaz.(%)	+29,7%	+40,5%	+38%	+25,6%	+20,8%	+14,8%
	p-value	>0,05	0,031	0,007	0,002	0,003	0,001
CAOLINO	AT	21,25	16,58	12,04	8,83	7,72	6,18
	$\Delta(\text{AT})$	+2,44	+2,47	+2,45	+0,73	+0,75	+0,17
	Variaz.(%)	+13%	+17,5%	25,6%	+9%	+10,8%	2,8%
	p-value	>0,05	>0,05	0,041	>0,05	>0,05	>0,05

Le viti controllo hanno presentato i valori più bassi di acidità titolabile rispetto alle viti ombreggiate e a quelle trattate con caolino (Tabella 2.4.1). Dall'andamento delle curve di maturazione è interessante notare che dal 2 all'8 agosto, in cui si sono registrate le temperature più elevate, l'acidità delle uve rete e controllo ha avuto una flessione sensibile, mentre nelle uve caolino è rimasta più lineare, come avvenuto anche per il pH, mostrando una differenza significativa rispetto al controllo. Questo risultato può essere motivato considerando che in data 1° agosto è stato eseguito il secondo ed ultimo trattamento di caolino, in dose 25 kg ha^{-1} , e da quel momento la prima pioggia si è verificata proprio l'8 di agosto; ciò sta a intendere che la dose di caolino, anche ragguardevole, usata per rivestire la vegetazione, abbia permesso alle piante di alleviare maggiormente lo stress termico del periodo. Dal campionamento successivo, tuttavia, la differenza tra i valori di acidità delle uve caolino e controllo si è ridotta a $+0,17 \text{ g l}^{-1}$, risultando non significativa alla vendemmia, contrariamente a quanto ottenuto da Cataldo et al. (2022), che hanno riscontrato un'acidità titolabile significativamente più elevata nelle uve trattate con caolino rispetto a quelle del controllo. Invece, l'acidità delle uve protette con rete per quasi tutta la fase di maturazione è risultata significativamente più alta rispetto alle uve controllo, con valori pari a $6,9 \text{ g l}^{-1}$ alla vendemmia ($+0,89 \text{ g l}^{-1}$, $+14,8\%$) (Tabella 2.4.1), corrispondente a quanto rinvenuto da Heo-Cheng Lu et al. (2021) e Cataldo et al. (2022).

L'acidità delle uve caolino ha sempre presentato valori più bassi rispetto alle uve ombreggiate con rete, con differenze significative alla vendemmia ($-0,72 \text{ g l}^{-1}$ di acido

tartarico), con p-value < 0,01. Le differenze dei valori di acidità titolabile tra le uve reti e caolino, ad ogni campionamento, sono riportate in Tabella 2.4.2.

Tabella 2.4.2. Differenze in termini di acidità titolabile e tasso di variazione delle uve di Verdicchio trattate con caolino rispetto a quelle ombreggiate, e livello di significatività osservato.

<i>Acidità titolabile (g l⁻¹)</i>		26-lug	02-ago	08-ago	16-ago	22-ago	29-ago
RETE	AT	24,4	19,82	13,23	10,17	8,42	6,9
CAOLINO	AT	21,25	16,58	12,04	8,83	7,72	6,18
	$\Delta(AT)$	-3,19	-3,24	-1,19	-1,34	-0,7	-0,72
	Variaz.(%)	-13,1%	-16,4%	-9%	-13,2%	-8,3%	-10,4%
	p-value	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	0,001

2.5 Rese

Alla vendemmia (29 agosto) si riscontrano delle differenze, alcune significative (Tabella 2.5.1), per quanto riguarda il numero medio di grappoli e la conseguente resa per pianta, che tuttavia non possono essere imputabili ai trattamenti, in quanto sono stati effettuati a seguito all'allegagione. Si possono invece prendere in considerazione, ai fini di questo studio, le differenze del peso medio dei grappoli e degli acini.

I dati riguardanti i grappoli sono riportati in Tabella 2.5.1; nella Tabella 2.5.2 vengono confrontate le produzioni delle viti sottoposte ad ombreggiamento e al trattamento con caolino. I grappoli delle viti controllo sono risultati tendenzialmente meno pesanti rispetto a quelli delle reti e caolino, che registrano un peso medio rispettivamente superiore di 15g e 11g.

Tabella 2.5.1. Componenti produttive delle uve di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino; sono riportate anche le differenze, il tasso di variazione e livello di significatività osservato. (PMG: peso medio dei grappoli).

Resa		grappoli/vite (°n)	uva/vite (g)	PMG (g)
CONTROLLO		14	3308	234
RETE		20	5146	249
	Δ	+6	+1838	+15
	Variation.(%)	+42,9%	+55,6%	+6,33%
	p-value	0,001	0,004	>0,05
CAOLINO		19	4618 g	245 g
	Δ	+5	+1310 g	+11 g
	Variation.(%)	+35,7%	+39,6%	+4,7%
	p-value	0,028	>0,05	>0,05

Tabella 2.5.2. Confronto del peso medio dei grappoli (PMG) di viti di Verdicchio nella tesi caolino rispetto a rete.

Resa		PMG (g)
RETE		249
CAOLINO		245
	Δ (PMG)	- 4
	Variation.(%)	-1,6%
	p-value	>0,05

Dal punto di vista prettamente visivo, gli acini delle viti ombreggiate da rete e caolino sono apparsi più verdi, con scottature ed avvizzimenti quasi totalmente assenti, in specialmodo quelli protetti dalle rete. Il controllo ha mostrato anche grappoli leggermente più compatti, valutati come grado di compattezza medio 9, mentre rete e caolino si attestano mediamente su 8 (Figure 2.5.1 e 2.5.2).



Figura 2.5.1. Grappoli delle viti di Verdicchio nelle tesi controllo (in alto) e rete (in basso).

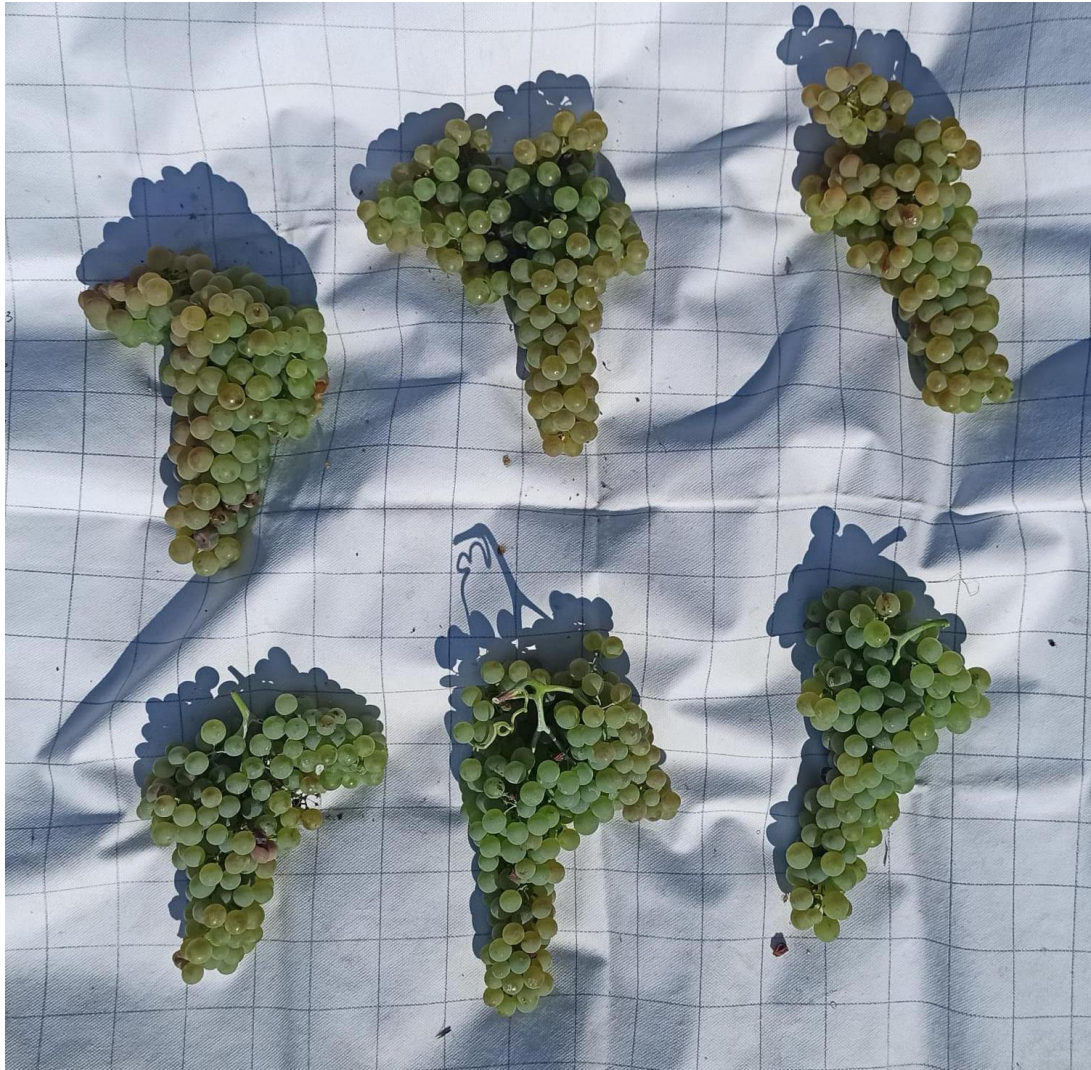


Figura 2.5.2. Grappoli delle viti di Verdicchio nelle tesi controllo (in alto) e caolino (in basso).

Prendendo in considerazione gli acini, il loro peso medio non registra mai differenze statisticamente significative, per quanto comunque alla vendemmia gli acini delle tesi rete e caolino pesino rispettivamente 0,07g e 0,12g in più del controllo (+4,4% e +7,5%) (Tabella 2.5.3), concordemente ai risultati ottenuti da Cataldo et al. (2022). Alla vendemmia le dimensioni degli acini delle tesi rete e caolino hanno mostrato invece valori simili (Tabella 2.5.4). Anche l'andamento del peso medio degli acini (Figura 2.5.3) è simile in tutte e tre le tesi.

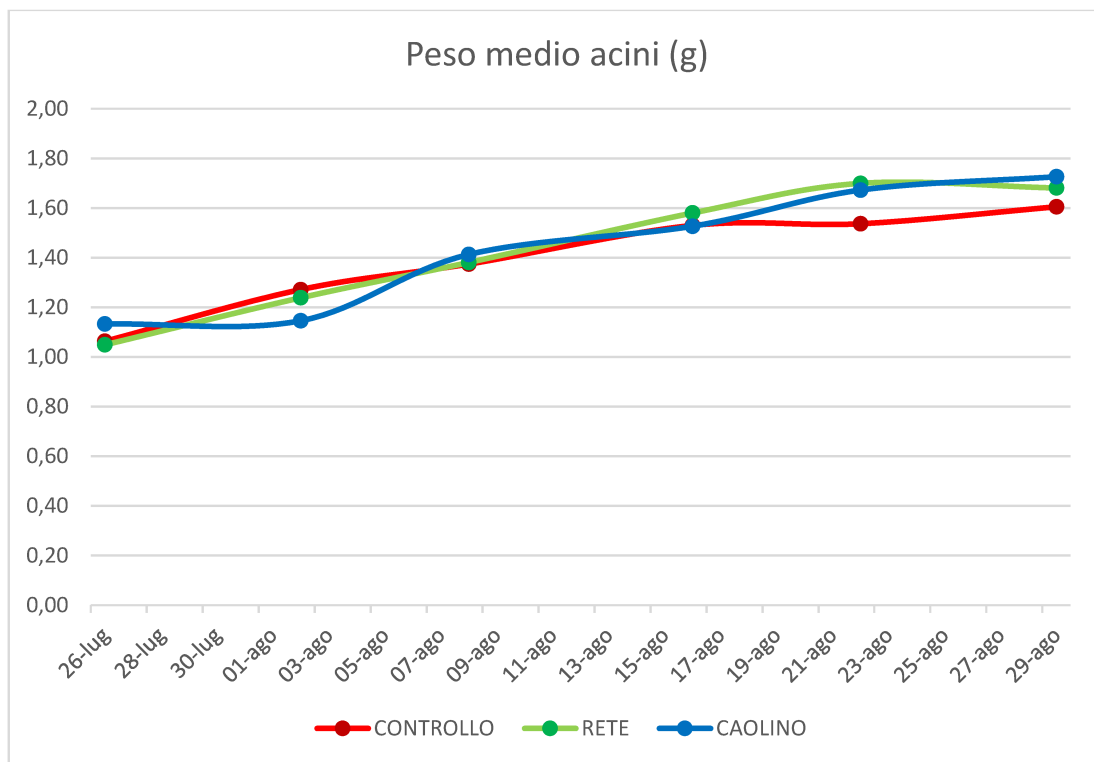


Figura 2.5.3. Andamento dell'accrescimento in peso degli acini di viti di Verdicchio nelle tesi controllo, reti e caolino.

Tabella 2.5.3. Confronto del peso medio degli acini (PMA) di viti di Verdicchio nelle tesi reti e caolino rispetto al controllo, e livello di significatività osservato.

Peso medio acini (g)		26-lug	02-ago	08-ago	16-ago	22-ago	29-ago
CONTROLLO	PMA	1,06	1,27	1,37	1,53	1,54	1,61
RETE	PMA	1,05	1,24	1,38	1,58	1,70	1,68
	Δ (PMA)	-0,01	-0,03	+0,01	+0,05	+0,16	+0,07
	Variaz.(%)	-0,9%	-2,4%	+0,7%	+3,3%	+10,4%	+4,4%
	p-value	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05
CAOLINO	PMA	1,13	1,15	1,41	1,53	1,67	1,73
	Δ (PMA)	+0,07	-0,12	+0,04	0	+0,13	+0,12
	Variaz.(%)	+6,6%	-9,5%	+2,9%	0	+8,4%	+7,5%
	p-value	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

Tabella 2.5.4. Confronto del peso medio degli acini (PMA) di viti di Verdicchio nella tesi caolino rispetto a rete, e livello di significatività osservato.

<i>Peso medio acini (g)</i>		26-lug	02-ago	08-ago	16-ago	22-ago	29-ago
RETE	PMA	1,05	1,24	1,38	1,58	1,54	1,61
CAOLINO	PMA	1,13	1,15	1,41	1,53	1,67	1,73
	Δ (PMA)	+0,08	-0,09	+0,03	-0,05	-0,03	+0,05
	Δ (%)	+7,6%	-7,3%	+2,2%	-3,2%	-1,8%	+3%
	p-value	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

CONCLUSIONI

Le reti ombreggianti ed il caolino, usato come sostanza filmogena, si sono rivelate delle valide strategie nel mitigare i problemi causati dal cambiamento climatico in termini di accumulo zuccherino e livelli di acidità, che nel Verdicchio Bianco, come in tutte le varietà a bacca bianca, determina la freschezza dei futuri vini. Nella sperimentazione effettuata, il trattamento con caolino e la presenza delle reti ombreggianti hanno protetto le viti durante il periodo di siccità estiva, evitando di suscitare stress nelle viti. Le viti controllo, invece, nello stesso periodo hanno ridotto la loro attività fotosintetica.

Pertanto, nei periodi in cui le condizioni ambientali non sono limitanti, la fotosintesi netta delle viti controllo mostra valori tra 7 e 11,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, ma, al sopraggiungere di uno stato di stress, queste chiudono gli stomi ed abbassano sensibilmente il proprio tasso fotosintetico, fino a raggiungere valori bassi, intorno a 3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Le viti protette dal caolino e dalle reti mantengono, invece, valori di fotosintesi ancora alti, di circa 6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. La presenza della rete e del caolino, fungendo da “barriera”, hanno ridotto la radiazione solare che raggiunge la superficie fogliare, comportando un calo di temperatura a livello dei grappoli e modificando il microclima della chioma, il che, probabilmente, si è ripercosso nel limitare le perdite d’acqua per evaporazione, come riscontrato nel peso medio dei grappoli e degli acini alla vendemmia, anche se le differenze osservate non sono statisticamente significative.

L’accumulo di solidi solubili totali nei trattamenti, se confrontato con quello delle viti controllo, procede più lentamente e si mantiene più basso fino alla vendemmia, proprio per il diverso andamento fotosintetico che ha caratterizzato le viti trattate con rete e caolino. L’applicazione delle reti lateralmente alla chioma delle viti (a protezione della fascia produttiva) ha modificato il microclima della chioma e ridotto la temperatura intorno ai grappoli, influenzando l’acidità titolabile e mantenendola a livelli più elevati. La più alta acidità riscontrata è probabilmente dovuta ad una minore degradazione dell’acido malico dovuta alla più bassa temperatura.

Il caolino, per quanto si sia dimostrato una valida soluzione per alleviare gli stress ambientali, non ha prodotto differenze significative rispetto al controllo in termini di pH e

acidità titolabile, al contrario delle reti ombreggianti, le cui differenze osservate per entrambi i parametri sono statisticamente significative, sia nei confronti del controllo che con il caolino.

Ai fini pratici, si potrebbe valutare la possibilità di utilizzare le due strategie, che hanno prodotto risultati soddisfacenti, per evitare stress estivi alle viti. In particolar modo le due strategie hanno rallentato il processo di maturazione del grappolo, nonostante il verificarsi di condizioni di temperature elevate e ridotta disponibilità idrica.

BIBLIOGRAFIA

- AbdAllah, A, 2019; Impacts of Kaolin and Pinoline foliar application on growth, yield and water use efficiency of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under water deficit: A comparative study. *J. Saudi Soc. Agric.*, 18, 256–268.
- Braca G., Bussetini M., Lastoria B., Mariani S., Piva F., 2021, Il Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare – BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica, Rapporti 339/21, Roma
- Brillante L, Belfiore N, Gaiotti F, Lovat L, Sansone L, Poni S, et al. (2016) Comparing Kaolin and Pinolene to Improve Sustainable Grapevine Production during Drought. *PLoS ONE* 11(6): e0156631.
- Brunetti M., Maugeri M. (2018). Ricostruzione e Analisi dei cambiamenti climatici in Italia: Dalla ricerca scientifica ai servizi climatici - In: *L'ACQUA*. - ISSN 1125-1255. - 2018:2(2018), pp. 13-22.
- Cardell, M.F., A. Amengual and R. Romero, 2019: Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. *Reg. Environ. Change*, 19(8), 2299–2310
- Cataldo, E.; Fucile, M.; Mattii, G.B. Effects of Kaolin and Shading Net on the Ecophysiology and Berry Composition of Sauvignon Blanc Grapevines. *Agriculture* 2022, 12, 491.
- Chen, C. et al., 2019: China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nature Sustainability*, 2, 122–129
- Clingeffer, P.R., 1993. Development of management systems for low cost, high quality wine production and vigour control in cool climate Australian vineyards. *Vitic. Enol. Sci.* 48. 130-134.
- Conde, Neves, Breia, Pimentel, Dinis, Bernardo, Correia, Cunha, Gerós, Moutinho-Pereira, 2018; Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. *Journal of Plant Physiology* 223, pp. 47–56.

- Costanza P, Barbagallo MG, Borsa D, Di Lorenzo R: Effetti degli interventi in verde sulle componenti produttive e qualitative della cultivar Grillo [abstract]. In Proceedings of VII Giornate Scientifiche SOI; 8-12 May 2007. Edited by Società di Ortoflorofruitticoltura Italiana. Sassari, Italy; 2007:2:134.
- De Orduna, R.M. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Int. Food Res. J.* 2010, 43, 1844–1855.
- Dinis, L.-T., Bernardo, S., Conde, A., Pimentel, D., Ferreira, H., Félix, L., et al., 2016a. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. *J. Plant Physiol.* 191, 45–53.
- Dinis, L.-T., Ferreira, H., Pinto, G., Bernardo, S., Correia, C.M., Moutinho-Pereira, J., 2016b. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. *Photosynthetica* 54, 47–55.
- Duchene, E., Schneider, C., 2005. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agron. Sust. Dev.* 25. 93-99.
- Dunn, R.J.H. et al., 2020: Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(16)
- Fidelibus, M.W., Christensen, L.P., Katayama, D.G., Pierre-Thibaut Verdenal, P.T., 2006. Yield Components and fruit composition of six Chardonnay grapevine clones in the Central San Joaquin Valley. *Calif. Am. J. Enol. Vitic.* 57, 503-506.
- Filippetti, I., Allegro, G., Mohaved, N., Pastore, C., Valentini, G., Intriери, C., 2011. Effects of late-season source limitations induced by trimming and antitranspirants canopy spray on grape composition during ripening in *Vitis vinifera* cv. Sangiovese. *Proceedings of 17th International Symposium Giesco*. Pp. 259-262.
- Fioravanti, Frascchetti, Lena, Perconti, Piervitali, 2021; *Gli indicatori del CLIMA in Italia nel 2020*; ISPRA.
- Flexas J, Galmés J, Gallé A, Gulias J, Pou A, Ribas-Carbo M, et al. Improving water use efficiency in INCOMPLETA
- Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Santos, J.A., 2012. An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food Energy Secur.* 1 (2), 94-110.

- Friedel, Frotscher, Nitsch, Hofmann, Bogs, Stoll, Dietrich, 2016; Light promotes expression of monoterpene and flavonol metabolic genes and enhances flavour of winegrape berries (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 22, pp. 409-421.
- Friend, A.P., Trought, M.C.T., 2007. Delayed winter spur-pruning in New Zealand can alter yield components of Merlot grapevines. *Aust. J. Grape Wine Res.* 13.157-164.
- Georgieva, K.; Tsonev, T.; Velikova, V.; Yordanov, I. Photosynthetic activity during high temperature treatment of pea plants. *J. Plant Physiol.* 2000, 157, 169–176.
- Gulev, S.K., P.W. Thorne, J. Ahn, F.J. Dentener, C.M. Domingues, S. Gerland, D. Gong, D.S. Kaufman, H.C. Nnamchi, J. Quaas, J.A. Rivera, S. Sathyendranath, S.L. Smith, B. Trewin, K. von Schuckmann, and R.S. Vose, 2021: Changing State of the Climate System. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 287–422.
- Hao-Cheng Lu, Wei Wei, Yu Wang, Chang-Qing Duan, Wu Chen, Shu-De Li, Jun Wang, 2021; Effects of sunlight exclusion on leaf gas exchange, berry composition, and wine flavour profile of Cabernet-Sauvignon from the foot of the north side of Mount Tianshan and a semi-arid continental climate. *Oeno One*, (2) pp. 267-283.
- Howell, G.S., Wolpert, J.A., 1978. Nodes per cane, primary bud phenology, and spring freeze damage to Concord grapevines: a preliminary note. *Am. J. Enol. Vitic.* 29, 229–232.
- Jackson, D.I., Lombard, P.B., 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44. 409-430.
- Jiang, C. et al., 2017: Inconsistencies of interannual variability and trends in long-term satellite leaf area index products. *Global Change Biology*, 23(10), 4133–4146
- Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R., Storchmann, K., 2005. Climate change and global wine quality. *Clim. Change* 73,319-343.
- Ju, Y.L.; Yue, X.F.; Zhao, X.F.; Zhao, H.; Fang, Y.L. Physiological, micro-morphological and metabolomic analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaf of plants under water stress. *Plant Physiol. Biochem.* 2018, 130, 501–510.

- Keenan, T.F. and W.J. Riley, 2018: Greening of the land surface in the world's cold regions consistent with recent warming. *Nature Climate Change*, 8, 825–828
- Keller, M., 2010. Managing grapevines to optimize fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturist. *Austr. J. Grape Wine Res.* 16, 56–69.
- Kliewer, W.M., Dokoozlian, N.K., 2005. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: influence of fruit composition and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 56, 170-181.
- Koufos, G.C., T. Mavromatis, S. Koundouras and G.V. Jones, 2020: Adaptive capacity of winegrape varieties cultivated in Greece to climate change. *Curr. Trends Future Proj.*, 1201–1219
- Lanari, V., Palliotti, A., Sabbatini, P., Howell, G.S. and Silvestroni, O. (2014) Optimizing deficit irrigation strategies to manage vine performance and fruit composition of field-grown 'Sangiovese' (*Vitis vinifera* L.) grapevines. *Scientia Horticulturae* 179, 239–247
- Lean, J.L., 2018: Estimating Solar Irradiance Since 850 CE. *Earth and Space Science*, 5(4), 133–149.
- Lobit, P.; Genard, M.; Soing, P.; Habib, R. Modelling malic acid accumulation in fruits: Relationships with organic acids, potassium, and temperature. *J. Exp. Bot.* 2006, 57, 1471–1483.
- Lobos, G.A.; Acevedo-Opazo, C.; Guajardo-Moreno, A.; Valdés-Gómez, H.; Taylor, J.A.; Laurie, V.F. Effects of kaolin-based particle film and fruit zone netting on Cabernet Sauvignon grapevine physiology and fruit quality. *OENO One* 2015, 49, 137–144.
- Lu, H.C.; Wei, W.; Wang, Y.; Duan, C.Q.; Chen, W.; Wang, J. Effects of sunlight exclusion on leaf gas exchange, berry composition, and wine flavour profile of Cabernet-Sauvignon from the foot of the north side of Mount Tianshan and a semi-arid continental climate. *OENO One* 2021, 55, 267–283.
- Marais J, Van Wyk CJ, Rapp A: Effect of sunlight and shade on Norisoprenoid levels in maturing Weisser Riesling and Chenin Blanc grapes and Weisser Riesling wines. *S Afr J Enol Vitic* 1992, 13:23-31
- Mori, K., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M., and Hashizume, K. (2007). L055 are linear functions of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *J. Exp. Bot.* 50, *Meteorol.* 132, 201-2 1935-1945.

- Novello, V.; De Palma, L.; 2013; Viticultural strategy to reduce alcohol levels in wine. In Alcohol Level Reduction in Wine (pp. 3–8). Vigne et Vin Publications Internationales; Oenoviti International Network: Bordeaux, France.
- Palliotti, A., Panara, F., Famiani, F., Sabbatini, P., Howell, G.S., Silvestroni, O. and Poni, S. (2013). Postveraison application of antitranspirant di-1-p-menthene to control sugar accumulation in Sangiovese grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 64, 378–385.
- Palliotti, Tombesi, Silvestroni, Lanari, Gatti, Poni, 2014. Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review. *Scientia Horticulturae*, pp. 43–54.
- Palliotti, A., Frioni, T., Tombesi, S., Sabbatini, P., Cruz-Castillo, J.G., Lanari, V., Silvestroni, O., Gatti, M. and Poni, S. (2017). Double pruning grapevines as a management tool to delay berry ripening and control yield. *American Journal of Enology and Viticulture* 68, 412–421.
- Reynolds AG, Wardle DA: Influence of fruit microclimate on monoterpene levels on Gewerztraminer. *Am J Enol Vitic* 1989, 40:149-154.
- Scafidi, Pisciotta, Patti, Tamborra, Di Lorenzo, Barbagallo, 2013; Effect of artificial shading on the tannin accumulation and aromatic composition of the Grillo cultivar (*Vitis vinifera* L.). *BMC Plant Biology*, 13:173.
- Seccia, A., Maggi, G., 2011. Futuro roseo per i vini a bassa gradazione alcolica. *L'Inf. Agr.* 13 (suppl. 1/7 aprile), S11–S14.
- Shellie, K.C., King, B.A., 2013. Kaolin-based foliar reflectant and water deficit influence Malbec leaf and berry temperature, pigments, and photosynthesis. *Am. J. Enol. Viticult.*
- Shepherd, T.G. et al., 2014: Reconciliation of halogen-induced ozone loss with the total-column ozone record. *Nature Geoscience*, 7, 443–449
- Silvestroni, O., Lanari, V., Lattanzi, T., Palliotti, A. and Sabbatini, P. (2016) Impact of crop control strategies on performance of high-yielding Sangiovese grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 67, 407–418.

- Silvestroni, O., Lanari, V., Lattanzi, T. and Palliotti, A. (2018a) Delaying winter pruning, after pre-pruning, alters budburst, leaf area, photosynthesis, yield and berry composition in Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 24, 478–486.
- Silvestroni, O., Lanari, V., Lattanzi, T., Palliotti, A., Vanderweide, J. and Sabbatini, P. (2018b) Canopy management strategies to control yield and grape composition of Montepulciano grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 25, 30–42.
- Silvestroni, O., Lanari, V., Lattanzi, T., Dottori E., Palliotti, A. (2020). Effects of anti-transpirant di-1-p-menthene, sprayed post-veraison, on berry ripening of Sangiovese grapevines with different crop loads. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 26, 363–371
- Stoll, M., Scheidweiler, M., Lafontaine, M., Schultz, H.R., 2009. Possibilities to reduce the velocity of berry maturation through various leaf area to fruit ratio modifications in *Vitis vinifera* L. Riesling. *Prog. Agric. Vitic.* 127, 68-71.
- Torres, N., Martinez-Lüscher, J., Porte, E., and Kurtural, S. K. (2020). Optimal ranges and thresholds of grape berry solar radiation for flavonoid biosynthesis in warm climates. *Front. Plant Sci.* 11:931.
- Trenberth, K. E., and Fasullo, J. T. (2009). Global warming due to increasing absorbed solar radiation. *Geophys. Res. Lett.* 36: L07706.
- Tubajika, K.M.; Civerolo, E.L.; Puterka, G.J.; Hashim, J.M.; Luvisi, D.A. The effects of kaolin, harpin, and imidacloprid on development of Pierce's disease in grape. *Crop Prot.* 2007, 26, 92–99.
- Van Leeuwen C, Tregoat O, Choné X; 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *OENO One*, 43(3), 121–134.
- Van Leeuwen, C.; Destrac-Irvine, A.; 2017. Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *Oeno One*, 51, 147–154.
- Villalobos-Soublett, E.; Gutiérrez-Gamboa, G.; Balbontín, C.; Zurita-Silva, A.; Ibacache, A.; Verdugo-Vásquez, N.; 2021. Effect of Shading Nets on Yield, Leaf Biomass and Petiole Nutrients of a Muscat of Alexandria Vineyard Growing under Hyper-Arid Conditions. *Horticulturae*, 7, 445.

- Wu, C.-J., N.A. Krivova, S.K. Solanki, and I.G. Usoskin, 2018: Solar total and spectral irradiance reconstruction over the last 9000 years. *Astronomy & Astrophysics*, 620, A120
- Xiao, Z., S. Liang, and B. Jiang, 2017: Evaluation of four long time-series global leaf area index products. *Agricultural and Forest Meteorology*, 246, 218–230
- Yeung, L.Y. et al., 2019: Isotopic constraint on the twentieth century increase in tropospheric ozone. *Nature*, 570(7760), 224–227
- Yu, R., and Kurtural, S. K. (2020). Proximal sensing of soil electrical conductivity provides a link to soil-plant water relationships and supports the identification of plant water status zones in vineyards. *Front. Plant Sci.* 11:244.