

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agroforestali

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie viticole ed enologiche

**Analisi delle anomalie di maturazione dell'uva (cv. Glera)
e dell'andamento meteorologico stagionale nell'area di
Conegliano-Valdobbiadene – un approccio modellistico**

Docente di riferimento

Prof. Franco Meggio

Correlatori

Dott. Paolo Belvini

Dott. Giovanni Pascarella

Laureando

Michele Spagnol

Matricola n. 1202015

ANNO ACCADEMICO 2020/2021

Sommario

RIASSUNTO.....	3
ABSTRACT	4
1 INTRODUZIONE	5
1.1 Il cambiamento climatico.....	5
1.2 Gli effetti sulla fenologia della vite	6
1.3 Effetti sui parametri chimici della bacca	7
2 SCOPO DEL LAVORO.....	9
3 MATERIALI E METODI	10
3.1 Area di studio.....	10
3.2 Analisi dei dati di maturazione delle uve.....	11
3.3 Modellizzazione delle dinamiche di maturazione	12
3.4 Raccolta ed elaborazione dei dati meteorologici	15
3.4.1 Calcolo delle statistiche climatologiche e delle anomalie.....	15
4 RISULTATI E DISCUSSIONI	16
4.1 Sviluppo dei modelli di maturazione	16
4.2 Correlazione anomalie climatologiche e di maturazione.....	27
4.2.1 Anomalie climatologiche.....	27
4.2.2 Anomalie di maturazione.....	27
4.2.3 Correlazioni tra anomalie	27
4.3 Anomalie titolo zuccherino.....	29
4.3.1 Heatmap.....	29
4.3.2 Correlazioni significative	31
4.3.3 Considerazioni	32
4.4 Anomalie acidità totale	33
4.4.1 Heatmap.....	33

4.4.2	Correlazioni significative	35
4.4.3	Considerazioni	36
4.5	Anomalie pH.....	37
4.5.1	Heatmap.....	37
4.5.2	Correlazioni significative	39
4.5.3	Considerazioni	40
4.6	Anomalie acido tartarico.....	41
4.6.1	Heatmap.....	41
4.6.2	Correlazioni significative	43
4.6.3	Considerazioni	44
4.7	Anomalie acido malico	45
4.7.1	Heatmap.....	45
4.7.2	Correlazioni significative	47
4.7.3	Considerazioni	48
5	CONCLUSIONI.....	49
6	BIBLIOGRAFIA	50

RIASSUNTO

Col presente studio si è voluto analizzare la risposta indotta sulle curve di maturazione dalle anomalie meteorologiche, prendendo in esame le curve di maturazione dal 2002 al 2020 di 16 differenti vigneti coltivati a Glera e collocati nel comune di Valdobbiadene e limitrofi. Al fine di poter osservare anche eventuali differenze all'interno del comprensorio, tali vigneti sono stati classificati in tre categorie: fascia collinare settentrionale, meridionale e pianure-fondovalle. I dati meteorologici sono stati forniti dall'Arpa regionale (Veneto) e sono riferiti alla capannina di Bigolino (Valdobbiadene).

Per studiare le curve di maturazione, è stato effettuato il *fitting* dei dati relativi ai vari parametri (grado zuccherino, acidità totale, pH, acido tartarico e acido malico) ottenendo delle curve che, intersecate con dei valori di soglia, hanno permesso di individuare il giorno dell'anno (DOY) in cui quei valori sono stati raggiunti. In questo modo è stato possibile identificare le annate in anticipo o in ritardo rispetto alla media e l'ammontare dei giorni di discostamento.

Per ogni anno, mese e bimestre, sono state ricavate temperature massime, minime e le precipitazioni. Il paragone dei singoli valori con le medie complessive ha fornito un quadro delle anomalie meteorologiche.

La ricerca delle correlazioni è stata effettuata calcolando la regressione lineare per ogni combinazione di anomalia nel raggiungimento di una determinata soglia e anomalia meteorologica. In questo modo è stato possibile discriminare le correlazioni significative dalle altre semplicemente cercando i valori più elevati del coefficiente di determinazione, col risultato di evidenziare quali sono i periodi più influenti sulla maturazione dal punto di vista meteorologico.

ABSTRACT

This study analyzes the ripening curves response to the meteorological anomalies between 2002 and 2020. The samples come from 16 Glera vineyards in Valdobbiadene and neighboring areas. The vineyards were divided in three categories in order to observe the eventual differences in the area: northern hills, southern hills and flat lands. The regional Arpa (Regional Agency for Environmental Protection and Prevention) gives the meteorological datas. The weather station is located in Bigolino (Valdobbiadene).

All ripening datas were fitted in order to obtain a ripening curve for each parameter (sugar content, total acidity, pH, tartaric acid and malic acid). These curves were used for identifying the day of the year when a certain value of each parameter has been reached. This method allows to determine which vintages are in advance and which are delayed compared to the average and of how many days.

Maximum temperature, minimum temperature and rainfalls were detected for each year, month and two months. Comparing each value with the average ones it is possible to find meteorological anomalies.

A linear regression was calculated for every combination between ripening anomalies and meteorological anomalies. A determination coefficient was resulted for each linear regression. High values of this parameter mean meaningful correlations. This allows to identify the most influential periods on ripening, from a meteorological point of view.

1 INTRODUZIONE

1.1 Il cambiamento climatico

La temperatura media della superficie terrestre, a causa principalmente delle emissioni di gas serra, nel decennio 2006 - 2015 è stata di 0,87 °C maggiore rispetto alla media del periodo 1850 - 1900 e la temperatura media attuale supera di circa 1 °C quella dell'era preindustriale (IPCC, 2018). Le previsioni mostrano che in futuro saranno più frequenti ed intensi eventi meteorologici estremi, quali ondate di calore e periodi di siccità che diventeranno limitanti per tutti gli organismi viventi (Sillmann & Roeckner, 2008).

L'aumento della temperatura media del solo periodo vegetativo registrava nel 2004 1,7 °C in più rispetto al 1950 (Droulia et al., 2021). La tendenza indica un raddoppio della durata delle ondate di calore rispetto a un secolo fa. Aumenterà la probabilità di eventi estremi: in Europa centrale nel 1901 vi era l'1,1% di probabilità che una precipitazione avesse caratteri di intensità fuori dall'ordinario, nel 2003 tale probabilità è aumentata fino al 24,6% (Jentsch et al., 2008).

Ci saranno, probabilmente, degli spostamenti di quelle che sono le zone vocate per determinate colture, calerà la disponibilità idrica e vi saranno perdite di superfici coltivabili in seguito all'innalzamento del livello del mare e la conseguente salinizzazione dei suoli. Ad avere effetti potenzialmente benefici potrà essere la maggiore concentrazione di anidride carbonica nell'aria, che avrebbe effetti positivi sulla crescita delle piante, aumentandone la resa e diminuendo le perdite per traspirazione (Cumhur A. & Cresser, 2008). In particolare, il confine settentrionale della coltivazione della vite si sposterà sempre più a Nord, mentre quello meridionale subirà modifiche meno prevedibili, dipendendo in larga scala dalla disponibilità idrica (de Cortazar et al., 2004).

L'incremento delle temperature abbasserà il rischio di gelate tardive, tuttavia l'anticipo fenologico indotto potrà rendere nullo tale vantaggio, o addirittura risultare in una probabilità maggiore di danni da basse temperature in alcune zone (Keller, 2010).

1.2 Gli effetti sulla fenologia della vite

In merito alla vite, si sono osservate influenze positive delle temperature massime primaverili sull'anticipo della fenologia, in particolar modo della fase di fioritura (Cameron et al., 2021). Le date di vendemmia tendono ad anticiparsi, ma ad essere sempre più lontane dall'invasatura (Van Leeuwen et al., 2016).

Da uno studio effettuato nella provincia di Stiria, in Slovenia, analizzando i dati meteorologici dal 1950 al 2009, è emerso che il periodo con le variazioni più significative è stato quello che va dal 1980 al 2009. Il dato più interessante dal punto di vista viticolo è stato l'incremento medio annuo dell'indice di Huglin di 11,327 (dato che dal 1950 al 1979 registra addirittura un decremento di 3,289 unità). Anche la distribuzione delle precipitazioni è cambiata, con un apparente calo delle precipitazioni annue a fronte di un leggero incremento di quelle nella stagione vegetativa (aprile-settembre), ma, nonostante questo, i periodi di siccità sono più lunghi e frequenti (Vršič & Vodovnik, 2012).

Uno studio effettuato in Australia prevede un continuo calo, nei prossimi decenni, dei contenuti di antocianina e dell'acidità, che avranno effetto negativo sulla qualità del vino. L'anticipo della data di raccolta potrà avere effetti differenti a seconda dell'area, influenzando positivamente sulle zone fredde, ma costituendo un problema per l'esposizione della vite a stress maggiori nelle zone più calde (Barnuud et al., 2014).

Dalle previsioni effettuate in Trentino, emerge come la vendemmia sarà anticipata di una o due settimane rispetto alla media, dal 2021 al 2050, e fino a quattro settimane dal 2071 al 2099, con una costante diminuzione dell'intervallo germogliamento-vendemmia (Alikadic et al., 2019).

1.3 Effetti sui parametri chimici della bacca

Il processo di maturazione dell'uva prevede che, per distensione cellulare e accumulo di acqua e soluti nei tessuti, si abbia l'aumento del volume e del peso della bacca, si accumulino zuccheri semplici e diminuisca la concentrazione degli acidi organici, favorendo l'aumento della concentrazione idrogenionica (Palliotti et al., 2015). Dopo l'allegagione, la bacca aumenta di volume secondo una curva a doppia sigmoide: durante la prima fase l'aumento di volume è dato dalla moltiplicazione cellulare e in questo periodo si ha l'accumulo della maggior parte degli acidi, durante la seconda fase avviene l'accumulo degli zuccheri e dell'acqua, che provoca una diminuzione dell'acidità (Haggerty, 2013).

Gli acidi organici maggiormente rappresentati nell'uva sono quello tartarico, poco frequente in natura, l'acido malico, che prima dell'invasatura può raggiungere i 25 g/L, per poi calare in seguito alla diluizione e ai fenomeni catabolici a suo carico e l'acido citrico (Ribéreau-Gayon et al., 2018).

Sono stati valutati, in Stiria, alcuni parametri tecnologici alla raccolta di uve di Riesling Italico, Riesling Renano, Sauvignon Blanc e Bouvier, mostrando in tutti i casi una tendenza alla diminuzione dell'acidità totale dai 3 ai 4,5 g/L, ritrovando così nel 2009 valori di 6 g/L per le uve Bouvier, 8 g/L per il Sauvignon Blanc, 7 e 8,5 g/L per il Riesling Italico e il Riesling Renano, rispettivamente. Un aspetto significativo evidenziato da questo studio è stata la tendenza dell'acidità a diminuire in modo proporzionale all'incremento dell'indice di Huglin, per tutte le varietà (Vršič & Vodovnik, 2012).

Droulia et al. (2021) hanno osservato nel territorio europeo una tendenza generale all'anticipo delle fasi fenologiche, all'incremento del potenziale alcolico e alla diminuzione dei precursori delle sostanze aromatiche in seguito alla precocità della maturazione.

Altri autori hanno evidenziato un costante abbassamento dell'acidità totale e un innalzamento del pH e del potenziale alcolico alla vendemmia con il passare degli anni (Van Leeuwen et al., 2016). Secondo Lakso et al. (1975), infatti, sopra i 35 °C si ha un forte rallentamento della sintesi di acido malico e un aumento dei processi di

degradazione dello stesso. Prima dell'invasatura, la biosintesi degli acidi è invece favorita da temperature comprese tra i 20 e i 25 °C (Haggerty, 2013).

Dopo l'invasatura, si ha la traslocazione di zuccheri dalle foglie alle bacche attraverso il floema e sottoforma di saccarosio. Questo, nell'acino maturo, rappresenta circa il 90 % dei solidi solubili, permettendo di usare un indice rifrattometrico come il °Brix, che ne approssima con buona precisione la concentrazione (Haggerty, 2013).

2 SCOPO DEL LAVORO

Nell'attuale contesto di cambiamento climatico, data la sua stretta relazione con l'ambiente, la viticoltura sta subendo forti pressioni con conseguenze importanti dal punto di vista sia quantitativo che qualitativo. Questo studio vuole valutare l'esistenza di strette relazioni tra l'andamento meteorologico verificatosi negli ultimi 20 anni nell'area di Conegliano-Valdobbiadene e le dinamiche di maturazione della cv. Glera. In particolare, sono stati presi in considerazione i dati rilievi pre-vendemmiali raccolti da extendaVitis su 16 vigneti collocati in tre aree: collina versante nord (i), collina versante sud (ii) e pianura e fondovalle (iii). Sono stati analizzati i seguenti parametri di maturazione: solidi solubili totali (TSS), acidità totale (AT), acido malico e tartarico e pH. Per quanto riguarda i dati meteorologici, è stata acquisita la serie storica meteorologica fornita dall'ARPA regionale per la stazione di Valdobbiadene per il periodo 2002-2020 delle seguenti variabili: precipitazioni (mm), temperature massime (°C) e temperature minime (°C).

Lo scopo del lavoro si divide in tre fasi:

1. individuare le anomalie meteorologiche verificatesi nell'area di studio evidenziando se e di quanto il dato meteorologico misurato si sia discostato dal dato medio climatologico utilizzando una scala temporale variabile da mensile, bimestrale ed annuale;
2. modellizzare le dinamiche di maturazione della cv. Glera nelle tre aree di studio e in ognuna, per ogni parametro di maturazione, evidenziare l'entità dell'anomalia di maturazione espressa come numero di giorni di anticipo o ritardo rispetto alla media nel periodo 2002-2020;
3. analizzare dal punto di vista statistico, mediante regressione lineare, l'esistenza di correlazioni tra le anomalie di maturazione e le anomalie meteorologiche.

3 MATERIALI E METODI

3.1 Area di studio

Per studiare questi fenomeni sono state prese in considerazione le curve di maturazione delle uve della varietà Glera raccolti raccolti da extendaVitis dal 2002 al 2020 in 16 vigneti tra i comuni di Valdobbiadene, Vidor, Pederobba, Miane e Farra di Soligo, tutti in provincia di Treviso. Fa eccezione la stagione 2017 per la quale non si hanno avuti a disposizione i relativi dati di maturazione delle uve per l'area in oggetto.

Al fine di osservare possibili differenze all'interno dell'area oggetto di studio, i punti di campionamento sono stati suddivisi in tre sub-aree (**Figura 1**). La caratteristica conformazione del comune di Valdobbiadene e dei comuni limitrofi ha permesso di distinguere i vari vigneti come appartenenti alla fascia collinare nord (a, rosso), alla fascia collinare sud (b, giallo) oppure facenti parte di pianure o fondovalle (c, blu).

- a. fascia collinare nord: è caratterizzata da un'altitudine che varia dai 300 ai 450 m s.l.m., con pendenze fino all'80%. L'area risulta leggermente più piovosa rispetto alla media, ma l'esposizione a sud limita comunque la disponibilità idrica, complice il ridursi dello spessore dello strato attivo alle quote maggiori. I vigneti sono disetanei e ad alta densità di impianto (fino a 3000 ceppi/ha). Molti portinnesti sono *Rupestris Du Lot*.
- b. La fascia collinare sud si presenta con caratteristiche piuttosto simili alla prima, ma con una tendenza alla carenza idrica più accentuata, date le temperature massime maggiori e uno strato attivo molto sottile, con frequenti affioramenti della roccia madre.
- c. L'insieme dei vigneti definiti pianeggianti o fondovalle si distinguono per una piovosità più elevata della media, accompagnata da umidità maggiori ed escursioni termiche maggiori. Si tratta, in linea di massima, di vigneti più soggetti degli altri al proliferare di malattie fungine, specialmente peronospora.

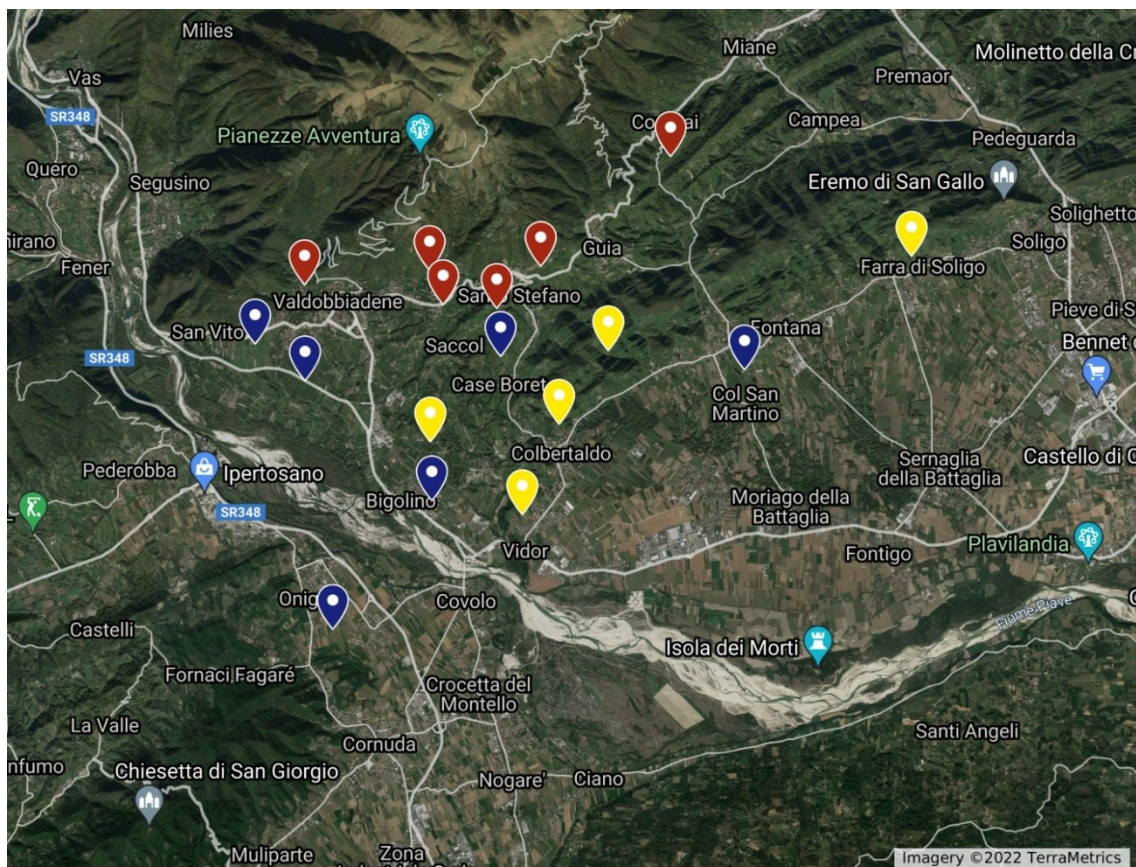


Figura 1: Immagine aerea che rappresenta il territorio all'interno del quale sono stati effettuati i campionamenti. I 16 vigneti sono stati classificati come appartenenti alla fascia collinare settentrionale (rosso), alla fascia collinare meridionale (giallo) e alle zone pianeggianti o fondovalle (blu).

3.2 Analisi dei dati di maturazione delle uve

I campioni di uva sono stati prelevati con cadenza settimanale, nello stesso giorno per ogni vigneto di studio e possibilmente dalle stesse piante per ogni vigneto, evitando quelle che, per diverse ragioni, avessero verosimilmente delle alterazioni nei parametri (viti affette da flavescenza, mal dell'esca, danni meccanici rilevanti, ecc.), asportando alternativamente punte o ali del grappolo e ad altezze diverse della pianta, fino a raccogliere un totale di 35-40 racimoli. Per effettuare le analisi si è proceduto dapprima pigiando gli acini e separando il liquido dal solido, poi lasciando decantare le impurità solide.

Lo strumento utilizzato per le analisi è l'OenoFOSS (FOSS, Hillerød, Danimarca) che si basa sul principio dell'interferometria all'infrarosso (FTIR), cioè analizzando l'impatto tra luce e materia. Il risultato è un'analisi multi-parametrica rapida, che dà la possibilità di monitorare l'andamento della maturazione dell'uva dal punto di vista

quantitativo e qualitativo. I parametri forniti dallo strumento sono molteplici, per questo studio ne sono stati selezionati e utilizzati solo alcuni:

- quantità di solidi solubili totali (TSS) indicati in g/L
- acidità totale (g/L)
- acido malico (g/L)
- acido tartarico (g/L)
- pH

3.3 Modellizzazione delle dinamiche di maturazione

Il lavoro di modellizzazione delle dinamiche di maturazione medie annuali è stato eseguito per ognuna delle tre aree geografiche e per l'intero dataset utilizzando modelli non-lineari in funzione del giorno dell'anno (DOY, day of the year).

Nello specifico è stato usato un modello a sigmoide a tre parametri (eq. 1) per quanto riguarda gli zuccheri TSS (g/L) e a quattro parametri per il pH (eq. 2). Mentre sono state utilizzate equazioni esponenziali (eq. 3) per la modellizzazione dell'acidità totale, dell'acido tartarico e dell'acido malico. Di seguito vengono riportate le equazioni utilizzate:

- Equazione curva grado zuccherino:

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b} \quad (1)$$

- Equazione curva pH:

$$y = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^b} \quad (2)$$

- Equazione curva sostanze acide:

$$y = a \cdot x^{-b} \quad (3)$$

Il *fitting* dei dati è stato effettuato attraverso la procedura di minimizzazione degli scarti quadratici mediante lo strumento ‘risolutore’ di Excel (Office365, Microsoft) ottenendo i parametri dei modelli che riducessero al minimo la differenza tra i valori reali e quelli stimati. La bontà di *fitting* è stata valutata dai seguenti quattro indici:

- R^2 : è il coefficiente di determinazione, dipende dal rapporto tra la variabilità residua dopo il *fitting* e quella assoluta. È bene che si avvicini il più possibile a uno, indicando che il modello utilizzato è di buona qualità.
- RMSE: corrisponde all’errore quadratico medio, la sua unità di misura è la medesima della variabile. Indica quanto il modello si avvicina ai dati reali in termini assoluti, la massima efficienza è raggiunta quando l’RMSE ha valore nullo.
- RRMSE: è l’errore quadratico medio relativo, simile all’RMSE, ma calcolato ed espresso in percentuale.
- EF: indica la bontà del modello, più si avvicina a uno, più il modello è affidabile e può essere sfruttato per effettuare stime reali.

Per ogni parametro di maturazione sono state individuate 18 soglie per ognuna delle quali è stato individuato per ogni singolo anno il giorno (DOY) in cui è stata raggiunta la specifica soglia e, mediante il confronto con il modello ottenuto mediante il *fitting* sull’intero dataset (2002-2020) di calcolare il numero di giorni di anticipo o ritardo con cui è stata raggiunta la specifica soglia di maturazione. Tali soglie sono riportate nella tabella seguente (**Tabella 1**).

Tabella 1: Soglie di maturazione individuate per ciascun parametro analitico.

n.	Zuccheri g/L	Acidità Totale g/L HTH	pH	Acido Malico g/L	Acido Tartarico g/L
1	80	22	2,6	19	20
2	85	21	2,63	18	19
3	90	20	2,66	17	18
4	95	19	2,69	16	17
5	100	18	2,72	15	16
6	105	17	2,75	14	15
7	110	16	2,78	13	14
8	115	15	2,81	12	13
9	120	14	2,84	11	12
10	125	13	2,87	10	11
11	130	12	2,9	9	10
12	135	11	2,93	8	9
13	140	10	2,96	7	8
14	145	9	2,99	6	7
15	150	8	3,02	5	6
16	155	7	3,05	4	5
17	160	6	3,08	3	4
18	165	5	3,11	2	3

3.4 Raccolta ed elaborazione dei dati meteorologici

I dati meteorologici sono stati messi a disposizione dall'ARPA del Veneto. In particolare, sono stati utilizzati i dati raccolti dalla stazione di misura di Valdobbiadene - Bigolino. I parametri che sono stati utilizzati sono i seguenti: temperatura (°C) e precipitazione (mm). Per quanto riguarda la temperatura, il dato utile è quello rilevato all'altezza di 2 metri da terra, ed è registrato su base oraria. Per la pioggia invece, che è misurata tramite pluviometro, il dato utile fornito è quello che indica la somma di precipitazione (mm) su base oraria.

3.4.1 Calcolo delle statistiche climatologiche e delle anomalie

I dati meteorologici ottenuti dal precedente lavoro di calcolo sono stati utilizzati per calcolare le statistiche medie climatologiche nell'intervallo temporale 2002-2020 per ogni dato meteorologico. In particolare, si è calcolata la media delle temperature medie, minime e massime registrate tutti gli anni su base mensile, bimestrale e annuale. La stessa cosa è stata fatta per le precipitazioni.

4 RISULTATI E DISCUSSIONI

4.1 Sviluppo dei modelli di maturazione

Nelle figure 2-6 di seguito sono riportati i grafici che riassumono il risultato delle procedure di *fitting* dei dati di maturazione mediante i modelli non lineari su base giornaliera (DOY). In particolare, per ogni parametro di maturazione viene mostrato il modello di maturazione medio dei 19 anni presi in esame (linea rossa). Per ogni area di studio: collina fascia nord, collina fascia sud, piano e fondovalle e l'intero dataset (totale) vengono riportati i grafici medi della dinamica di maturazione delle uve per quanto riguarda tutti i vigneti monitorati, analizzando l'accumulo degli zuccheri espresso in contenuto di solidi solubili (TSS, g/L) (**Figura 2**), l'acidità totale (g/L) (**Figura 3**), il pH (**Figura 4**), l'acido tartarico (**Figura 5**) e l'acido malico (**Figura 6**).

Oltre alla curva di *best fit* vengono riportati graficamente anche gli intervalli di confidenza con cui il modello risulta essere affidabile al 95%. L'area colorata di grigio chiaro, invece, indica l'intervallo di predizione al 95%.

Per quanto riguarda tutti i modelli ottenuti, i relativi parametri e gli indici di bontà del *fitting* sono riportati nelle tabelle 2-6 per ogni singolo anno, area geografica e parametro di maturazione.

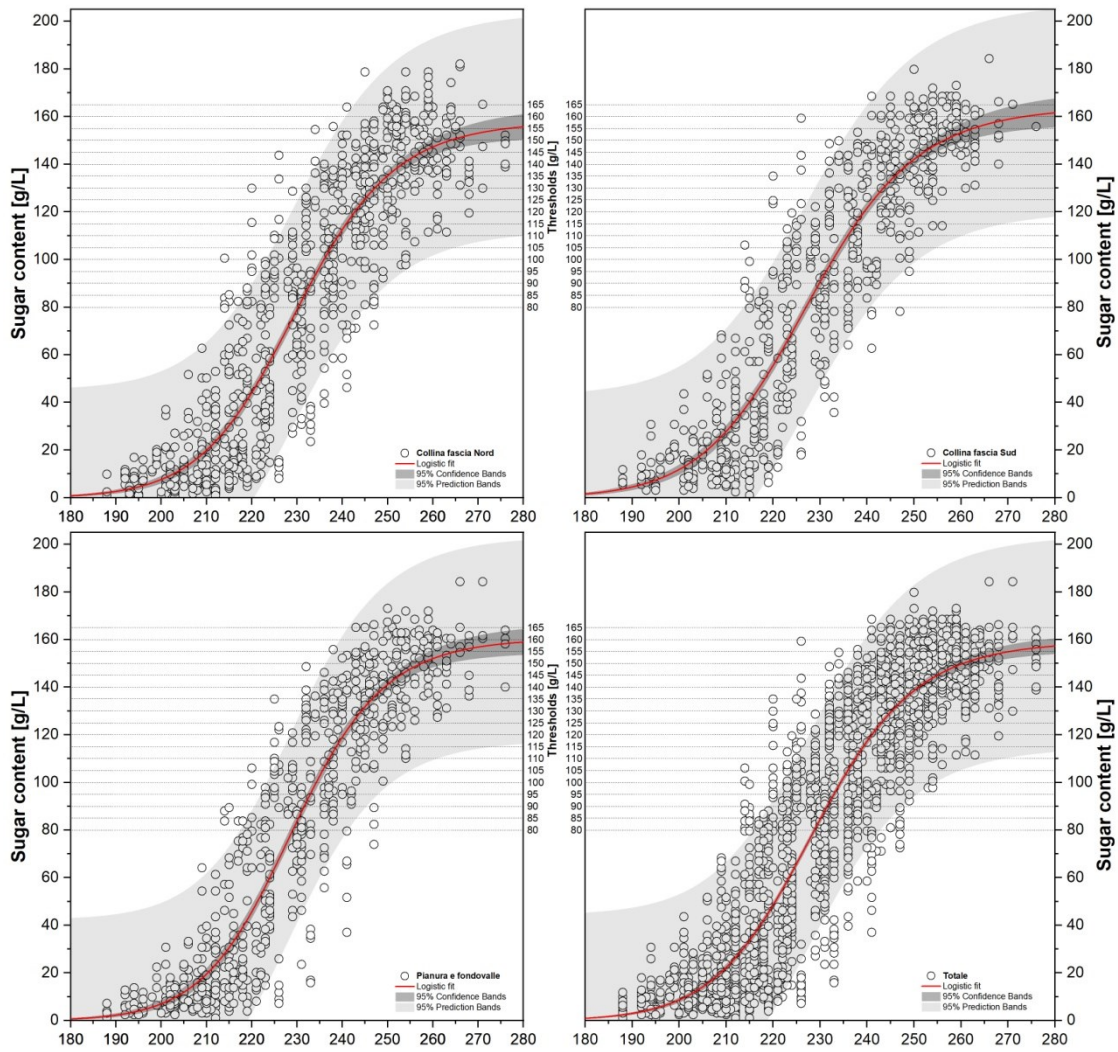


Figura 2: i grafici riportati in figura indicano l'andamento della gradazione zuccherina in relazione al giorno dell'anno (DOY). In grigio scuro è indicato l'intervallo di confidenza (95%) e in grigio chiaro l'intervallo di predizione (95%).

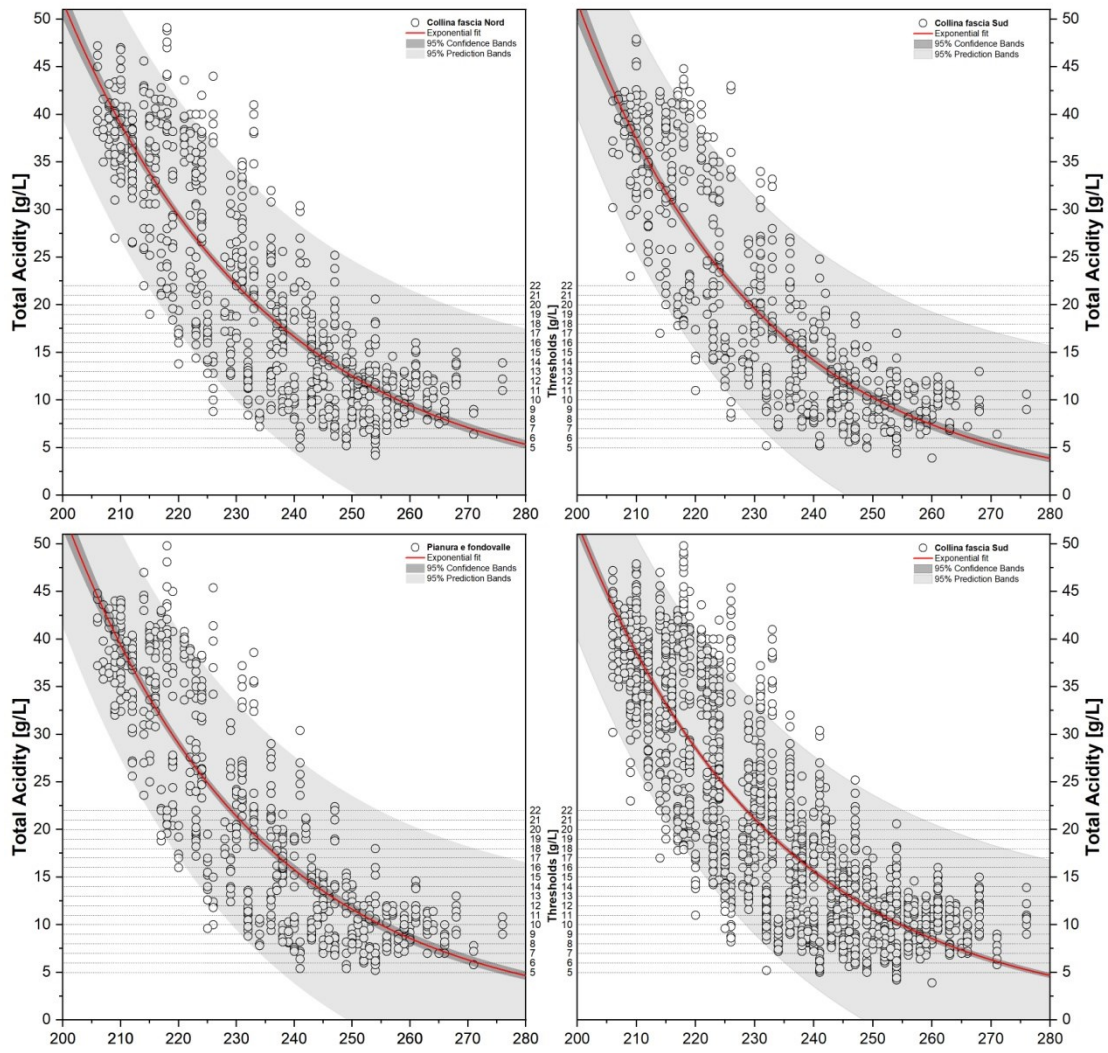


Figura 3: i grafici riportati in figura indicano l'andamento dell'acidità totale in relazione al giorno dell'anno (DOY). In grigio scuro è indicato l'intervallo di confidenza (95%) e in grigio chiaro l'intervallo di predizione (95%).

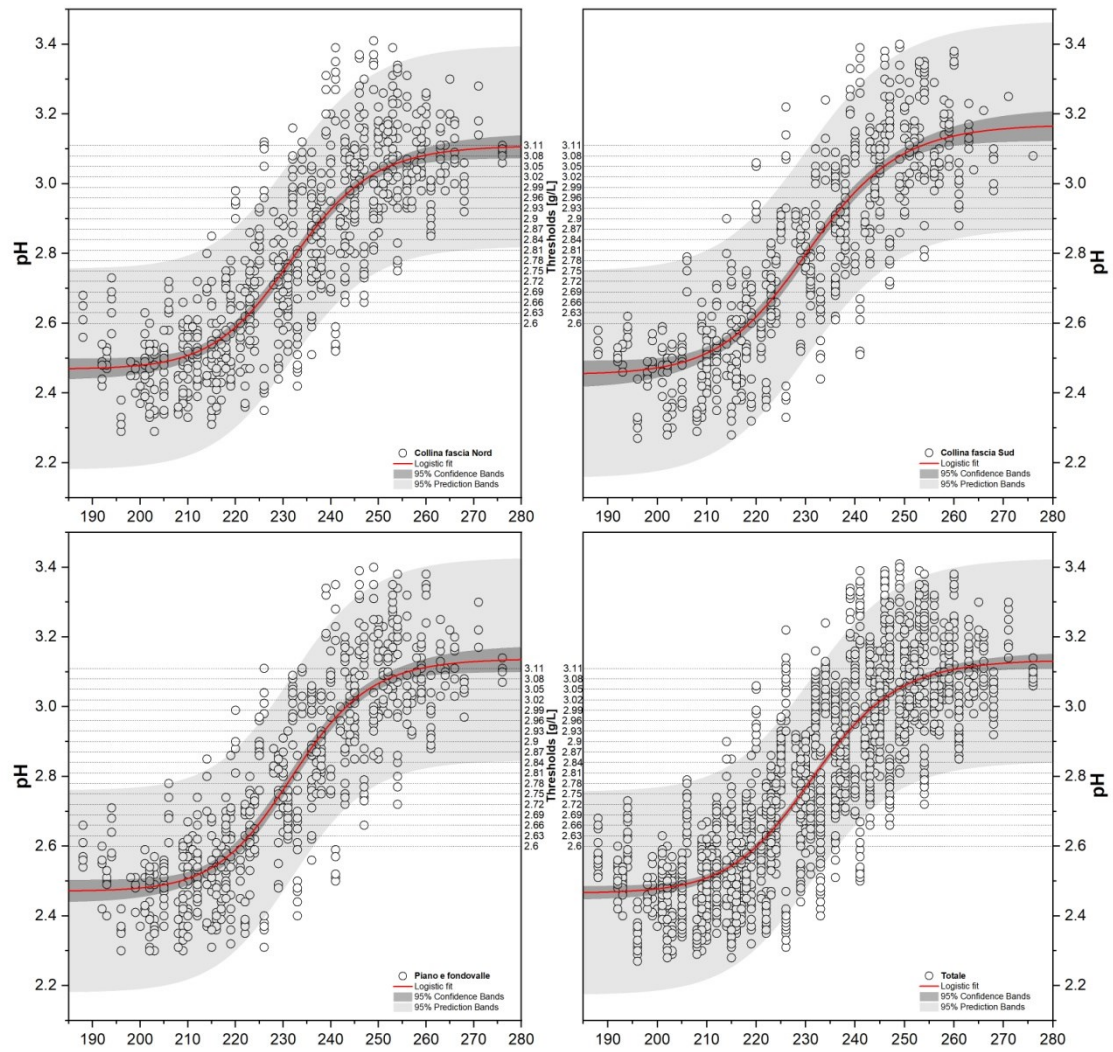


Figura 4: i grafici riportati in figura indicano l'andamento del pH in relazione al giorno dell'anno (DOY). In grigio scuro è indicato l'intervallo di confidenza (95%) e in grigio chiaro l'intervallo di predizione (95%).

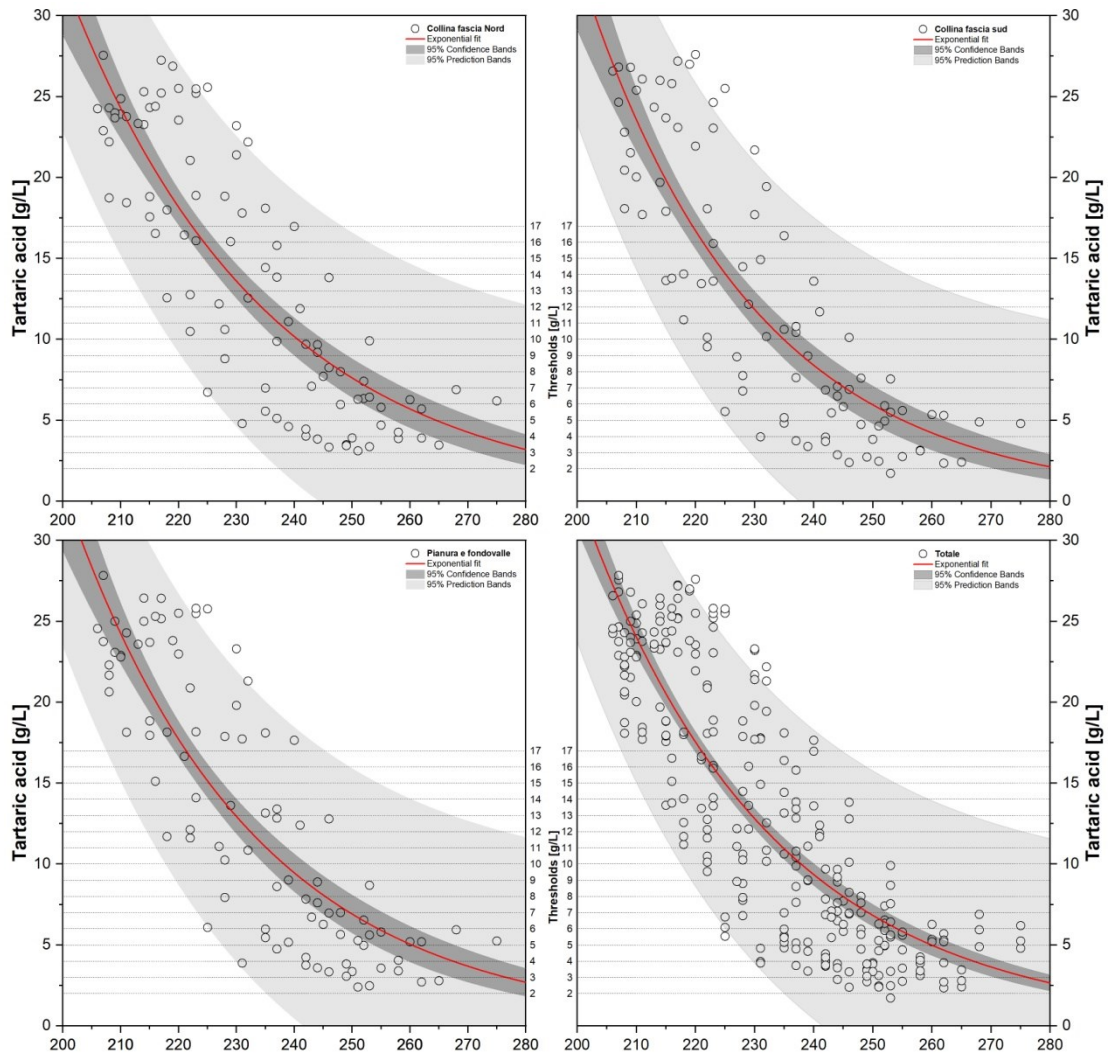


Figura 5: i grafici riportati in figura indicano l'andamento del contenuto di acido tartarico in relazione al giorno dell'anno (DOY). In grigio scuro è indicato l'intervallo di confidenza (95%) e in grigio chiaro l'intervallo di predizione (95%).

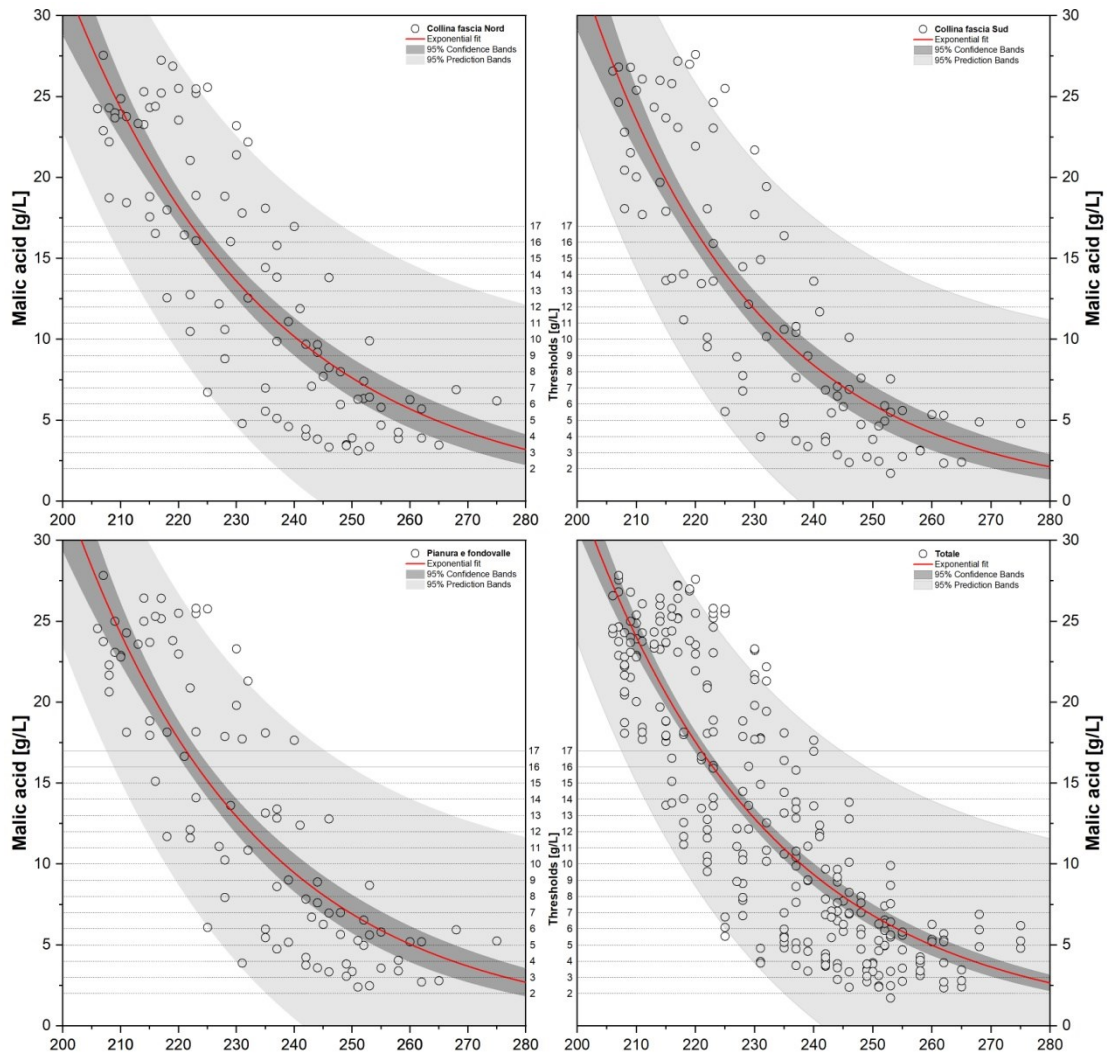


Figura 6: i grafici riportati in figura indicano l'andamento del contenuto di acido malico in relazione al giorno dell'anno (DOY). In grigio scuro è indicato l'intervallo di confidenza (95%) e in grigio chiaro l'intervallo di predizione (95%).

Tabella 2: parametri delle curve del grado zuccherino e relativi indici di bontà del *fitting*.

ANNO	AREA	R ²	RMSE	RRMSE	EF	a	b	X ₀
2002/2020	Colline	0,83	23,10	29,43%	0,83	158,05	-21,31	230,00
2002	Fascia Nord	0,98	8,71	12,11%	0,98	162,64	-22,30	233,24
2003		0,95	11,54	13,14%	0,96	149,43	-27,79	214,11
2004		0,99	6,25	9,03%	0,99	146,34	-26,74	244,61
2005		0,95	12,00	16,99%	0,95	152,05	-23,06	235,31
2006		0,98	9,30	11,59%	0,97	173,46	-25,76	233,02
2007		0,96	10,96	14,46%	0,96	170,02	-18,59	221,40
2008		0,96	10,05	14,34%	0,97	152,38	-28,71	238,13
2009		0,97	10,05	11,70%	0,97	170,26	-22,70	226,92
2010		0,97	9,81	13,95%	0,97	154,63	-27,66	231,64
2011		0,96	10,68	12,99%	0,96	169,96	-21,71	223,57
2012		0,96	12,06	13,60%	0,96	159,07	-27,05	223,46
2013		0,97	10,68	13,20%	0,97	187,82	-23,30	238,01
2014		0,94	12,97	20,32%	0,94	158,01	-19,12	237,02
2015		0,96	11,07	11,60%	0,96	166,10	-24,26	224,02
2016		0,93	14,45	19,05%	0,93	154,63	-27,63	237,99
2018		0,95	10,07	11,13%	0,96	143,26	-28,30	220,55
2019		0,98	7,26	7,82%	0,98	175,54	-25,13	232,42
2020		0,96	9,86	13,00%	0,96	164,00	-20,23	234,00
2002/2020	Colline	0,84	21,96	25,94%	0,84	164,25	-19,76	227,61
2002	Fascia Sud	0,98	9,36	13,06%	0,98	172,79	-23,79	232,50
2003		0,96	11,88	12,32%	0,96	157,75	-28,84	212,67
2004		0,97	9,79	12,19%	0,97	162,86	-24,95	240,94
2005		0,97	9,15	11,87%	0,97	166,02	-22,34	232,96
2006		0,98	8,62	9,93%	0,98	169,19	-26,92	229,61
2007		0,97	9,28	11,24%	0,97	172,63	-18,86	217,42
2008		0,97	8,69	12,21%	0,97	153,52	-24,74	237,87
2009		0,98	6,80	7,44%	0,98	171,55	-19,73	223,36
2010		0,98	6,88	8,33%	0,98	153,03	-24,68	228,35
2011		0,98	7,02	7,96%	0,98	183,44	-19,83	222,27
2012		0,97	8,98	10,31%	0,97	161,63	-22,02	221,78
2013		0,98	7,82	9,53%	0,98	180,31	-21,07	234,40
2014		0,98	7,56	10,50%	0,98	197,40	-14,94	239,58
2015		0,98	7,97	7,95%	0,98	157,97	-28,78	220,76
2016		0,98	7,56	8,60%	0,98	169,46	-23,23	234,67
2018		0,97	6,80	6,71%	0,98	154,14	-23,64	218,78
2019		0,99	4,46	4,71%	0,99	167,29	-23,88	230,08
2020		0,95	10,76	13,40%	0,95	169,67	-18,44	231,83
2002/2020	Pianura e Fondovalle	0,86	21,59	26,24%	0,86	165,21	-22,20	229,89
2002		0,98	7,92	10,77%	0,98	171,28	-25,06	233,61
2003		0,95	11,46	14,27%	0,95	152,21	-26,00	217,94
2004		0,97	9,47	12,71%	0,97	159,12	-28,61	245,03
2005		0,98	7,43	10,08%	0,98	159,07	-24,98	235,12
2006		0,96	11,47	14,30%	0,96	164,82	-29,61	231,75
2007		0,97	10,35	13,00%	0,97	180,98	-20,36	222,42
2008		0,97	8,76	12,38%	0,97	152,11	-28,39	237,84
2009		0,98	7,97	8,84%	0,98	181,88	-24,78	227,24
2010		0,98	7,35	9,48%	0,98	160,82	-26,70	230,64
2011		0,97	9,96	11,86%	0,97	166,55	-25,19	222,65
2012		0,98	8,65	10,08%	0,98	151,84	-28,80	223,60
2013		0,99	5,71	6,54%	0,99	191,11	-23,46	235,72
2014		0,98	8,96	11,63%	0,98	174,04	-18,83	232,90
2015		0,97	9,30	9,23%	0,98	165,89	-28,45	222,35
2016		0,97	9,72	11,36%	0,97	172,84	-26,20	237,16
2018		0,96	9,53	9,22%	0,97	151,12	-28,59	218,28
2019		0,98	7,97	8,91%	0,98	164,05	-28,12	231,53
2020		0,98	7,32	9,44%	0,98	167,33	-21,31	232,84
2002/2020	Totale	0,84	22,61	27,73%	0,84	162,22	-21,04	229,25
2002		0,97	9,45	13,06%	0,97	166,91	-23,89	232,87
2003		0,94	13,76	15,61%	0,94	152,76	-27,15	214,76
2004		0,96	11,38	15,33%	0,96	154,58	-26,66	243,45
2005		0,96	11,32	15,39%	0,96	156,80	-23,69	234,19
2006		0,97	10,59	12,87%	0,97	169,42	-27,04	231,55
2007		0,96	11,63	14,71%	0,96	174,69	-19,03	220,59
2008		0,97	9,38	13,29%	0,97	152,73	-27,22	237,97
2009		0,96	10,50	11,81%	0,97	176,10	-21,84	226,29
2010		0,97	9,23	12,09%	0,97	156,32	-26,22	230,39
2011		0,96	10,62	12,56%	0,96	171,68	-22,23	222,66
2012		0,96	11,12	12,74%	0,96	158,10	-25,47	223,10
2013		0,97	9,67	11,61%	0,98	188,52	-22,19	236,51
2014		0,94	12,66	17,96%	0,95	170,84	-17,79	235,59
2015		0,96	10,27	10,41%	0,97	163,08	-26,80	222,39
2016		0,95	13,34	16,16%	0,95	165,28	-25,31	236,75
2018		0,95	10,53	10,77%	0,96	148,92	-26,82	219,27
2019		0,98	7,57	8,21%	0,98	169,07	-25,70	231,46
2020		0,96	10,10	13,00%	0,96	166,10	-20,06	232,85

Tabella 3: parametri delle curve dell'acidità totale e relativi indici di bontà del *fitting*.

Anno	Area	R ²	RMSE	RRMSE	EF	a	b
2002/2020	Colline Fascia Nord	0,73	6,29	28,49%	0,72	1,23E+04	-0,03
2002		0,95	2,55	11,23%	0,95	2,94E+04	-0,03
2003		0,92	4,15	20,52%	0,92	3,68E+05	-0,05
2004		0,91	3,26	15,16%	0,90	2,44E+04	-0,03
2005		0,96	2,17	9,63%	0,96	3,32E+04	-0,03
2006		0,97	1,75	8,50%	0,97	1,07E+05	-0,04
2007		0,92	3,24	15,75%	0,92	4,81E+04	-0,04
2008		0,91	3,03	13,48%	0,91	6,68E+04	-0,03
2009		0,95	2,76	13,04%	0,95	1,15E+05	-0,04
2010		0,93	2,91	12,72%	0,93	2,27E+04	-0,03
2011		0,94	2,62	13,40%	0,94	7,44E+04	-0,04
2012		0,93	3,57	17,55%	0,92	2,37E+05	-0,04
2013		0,94	3,07	14,74%	0,94	1,10E+05	-0,04
2014		0,94	2,18	9,86%	0,94	3,16E+03	-0,02
2015		0,94	3,05	16,53%	0,94	1,19E+05	-0,04
2016		0,95	2,30	12,09%	0,95	8,90E+04	-0,04
2018		0,96	2,12	11,14%	0,96	4,91E+04	-0,04
2019		0,97	2,83	12,41%	0,96	3,36E+05	-0,04
2020		0,95	2,62	12,59%	0,95	3,46E+04	-0,03
2002/2020	Colline Fascia Sud	0,74	6,18	30,40%	0,73	2,13E+04	-0,03
2002		0,94	2,57	11,65%	0,94	3,57E+04	-0,03
2003		0,90	3,85	24,70%	0,88	3,51E+05	-0,05
2004		0,92	2,88	14,77%	0,91	3,37E+04	-0,03
2005		0,96	2,30	10,74%	0,95	7,00E+04	-0,03
2006		0,94	2,66	14,24%	0,94	1,16E+05	-0,04
2007		0,93	2,80	14,67%	0,93	5,23E+04	-0,04
2008		0,90	3,40	14,68%	0,89	2,58E+04	-0,03
2009		0,94	2,94	15,14%	0,94	1,39E+05	-0,04
2010		0,93	3,34	14,98%	0,93	4,28E+04	-0,03
2011		0,97	2,01	11,09%	0,96	1,22E+05	-0,04
2012		0,98	1,61	8,90%	0,98	1,99E+05	-0,04
2013		0,97	2,52	13,62%	0,95	2,35E+05	-0,04
2014		0,97	1,66	8,12%	0,97	9,76E+03	-0,03
2015		0,94	3,40	19,48%	0,93	1,90E+05	-0,04
2016		0,96	2,21	11,64%	0,96	1,32E+05	-0,04
2018		0,97	1,94	11,70%	0,96	4,64E+04	-0,04
2019		0,97	2,61	12,71%	0,95	2,66E+05	-0,04
2020		0,97	2,09	11,74%	0,96	5,51E+04	-0,04
2002/2020	Pianura e Fondovalle	0,75	6,20	29,20%	0,74	2,01E+04	-0,03
2002		0,96	2,33	10,14%	0,96	4,02E+04	-0,03
2003		0,95	3,25	18,41%	0,93	4,66E+05	-0,05
2004		0,95	2,45	11,29%	0,95	3,49E+04	-0,03
2005		0,98	1,68	7,70%	0,98	6,10E+04	-0,03
2006		0,95	2,39	11,76%	0,95	1,22E+05	-0,04
2007		0,95	2,50	12,23%	0,95	6,04E+04	-0,04
2008		0,91	3,14	14,02%	0,91	9,05E+04	-0,03
2009		0,96	2,79	13,10%	0,95	2,05E+05	-0,04
2010		0,95	2,31	11,94%	0,95	6,17E+04	-0,03
2011		0,95	2,30	14,23%	0,94	1,32E+05	-0,04
2012		0,98	1,49	8,43%	0,98	3,57E+05	-0,04
2013		0,98	2,04	10,46%	0,97	1,61E+05	-0,04
2014		0,98	1,52	7,14%	0,98	9,28E+03	-0,03
2015		0,95	3,00	16,90%	0,94	1,61E+05	-0,04
2016		0,95	2,72	13,32%	0,95	8,25E+04	-0,04
2018		0,95	2,52	14,92%	0,94	4,93E+04	-0,04
2019		0,97	2,56	11,42%	0,96	2,35E+05	-0,04
2020		0,97	1,90	9,47%	0,97	5,75E+04	-0,03
2002/2020	Totale	0,67	6,52	33,80%	0,65	1,58E+04	-0,03
2002		0,95	2,55	11,23%	0,95	2,94E+04	-0,03
2003		0,93	3,78	22,49%	0,90	4,86E+05	-0,05
2004		0,91	3,26	15,16%	0,90	2,44E+04	-0,03
2005		0,96	2,34	10,66%	0,96	4,63E+04	-0,03
2006		0,95	2,42	12,14%	0,95	1,14E+05	-0,04
2007		0,85	2,77	18,98%	0,84	4,46E+04	-0,04
2008		0,85	2,77	18,98%	0,84	4,46E+04	-0,04
2009		0,91	3,25	18,53%	0,90	1,49E+05	-0,04
2010		0,92	3,08	14,20%	0,92	3,83E+04	-0,03
2011		0,90	1,82	13,92%	0,90	4,94E+04	-0,04
2012		0,94	2,72	16,51%	0,94	3,13E+05	-0,04
2013		0,95	2,97	15,10%	0,94	1,44E+05	-0,04
2014		0,93	2,17	11,32%	0,92	6,18E+03	-0,02
2015		0,91	3,44	23,12%	0,88	1,29E+05	-0,04
2016		0,93	3,06	15,10%	0,93	7,46E+04	-0,03
2018		0,91	2,44	16,21%	0,90	3,42E+04	-0,03
2019		0,96	2,89	13,13%	0,95	2,77E+05	-0,04
2020		0,91	2,88	17,02%	0,90	4,28E+04	-0,03

Tabella 4: parametri delle curve del pH e relativi indici di bontà del *fitting*.

Anno	Area	R2	RMSE	RRMSE	EF	a	b	X _i	Y ₀
2002/2020	Colline	0,71	0,15	5,23%	0,71	0,64	-27,31	232,06	2,47
2002	Fascia Nord	0,95	0,05	1,80%	0,95	0,54	-30,19	235,74	2,48
2003		0,95	0,07	2,45%	0,95	1,22	-14,49	220,36	2,29
2004		0,96	0,05	1,72%	0,96	0,69	-28,04	254,08	2,44
2005		0,95	0,05	1,86%	0,95	0,58	-31,68	239,25	2,53
2006		0,94	0,07	2,27%	0,92	0,57	-40,13	233,97	2,58
2007		0,87	0,08	2,97%	0,87	0,61	-30,97	229,61	2,57
2008		0,94	0,05	1,81%	0,94	0,97	-13,47	241,18	2,39
2009		0,96	0,05	1,81%	0,96	0,73	-30,88	230,56	2,50
2010		0,94	0,06	2,24%	0,93	1,27	-11,04	234,04	2,20
2011		0,97	0,05	1,74%	0,97	0,80	-28,77	225,52	2,31
2012		0,95	0,07	2,67%	0,95	0,84	-32,41	231,20	2,40
2013		0,92	0,07	2,61%	0,92	0,74	-31,95	236,56	2,42
2014		0,96	0,05	1,77%	0,96	0,73	-22,78	241,20	2,36
2015		0,94	0,07	2,42%	0,94	0,98	-20,32	226,62	2,35
2016		0,96	0,06	2,09%	0,96	0,91	-22,42	245,71	2,34
2018		0,94	0,07	2,42%	0,94	0,79	-36,17	228,21	2,53
2019		0,91	0,05	1,93%	0,91	0,40	-81,36	240,28	2,66
2020		0,92	0,07	2,61%	0,92	0,90	-18,93	242,30	2,42
2002/2020	Colline	0,72	0,15	5,32%	0,72	0,72	-25,22	230,75	2,45
2002	Fascia Sud	0,95	0,05	1,68%	0,95	0,58	-27,89	236,71	2,50
2003		0,94	0,07	2,50%	0,94	1,31	-12,39	215,84	2,23
2004		0,96	0,05	1,95%	0,96	0,77	-25,37	247,58	2,36
2005		0,96	0,04	1,62%	0,96	0,77	-21,54	241,99	2,50
2006		0,94	0,06	1,95%	0,94	0,56	-53,44	235,77	2,59
2007		0,94	0,06	2,04%	0,94	0,73	-23,30	226,71	2,51
2008		0,96	0,05	1,67%	0,96	0,84	-19,28	235,38	2,39
2009		0,98	0,03	1,10%	0,98	0,91	-20,49	227,05	2,41
2010		0,97	0,06	1,95%	0,96	1,83	-10,07	236,86	2,05
2011		0,99	0,03	1,28%	0,99	0,90	-25,28	224,00	2,29
2012		0,98	0,04	1,49%	0,98	0,95	-26,35	230,69	2,40
2013		0,97	0,04	1,56%	0,97	1,21	-18,60	228,52	2,09
2014		0,98	0,04	1,44%	0,98	1,02	-15,49	240,75	2,26
2015		0,97	0,05	1,75%	0,97	0,98	-21,74	224,77	2,36
2016		0,98	0,04	1,48%	0,98	1,02	-20,21	241,52	2,27
2018		0,97	0,05	1,59%	0,97	0,89	-26,74	227,33	2,52
2019		0,96	0,04	1,49%	0,96	0,56	-37,31	239,01	2,60
2020		0,97	0,05	1,68%	0,97	0,88	-19,72	233,06	2,38
2002/2020	Pianura e Fondovalle	0,73	0,15	5,22%	0,73	0,67	-28,57	232,09	2,47
2002		0,92	0,06	2,24%	0,92	0,61	-26,76	238,13	2,48
2003		0,93	0,08	2,76%	0,93	1,22	-13,07	221,22	2,30
2004		0,97	0,05	1,80%	0,97	0,78	-27,00	251,79	2,38
2005		0,97	0,04	1,33%	0,97	0,58	-30,61	239,22	2,54
2006		0,95	0,05	1,86%	0,95	0,56	-60,28	236,27	2,56
2007		0,93	0,06	2,24%	0,93	0,65	-31,08	229,63	2,56
2008		0,96	0,05	1,74%	0,96	0,73	-23,81	235,24	2,44
2009		0,99	0,03	1,16%	0,99	0,79	-34,62	229,00	2,47
2010		0,96	0,06	1,94%	0,96	1,40	-13,10	236,36	2,23
2011		0,99	0,03	1,22%	0,99	0,81	-30,74	225,33	2,33
2012		0,99	0,03	1,24%	0,99	0,83	-30,82	232,22	2,42
2013		0,98	0,04	1,48%	0,98	0,85	-28,05	234,43	2,36
2014		0,97	0,05	1,73%	0,97	0,84	-19,66	238,83	2,31
2015		0,95	0,08	2,85%	0,92	0,93	-20,31	228,62	2,39
2016		0,97	0,05	1,98%	0,97	0,97	-23,01	243,45	2,31
2018		0,96	0,06	1,87%	0,96	0,81	-33,16	226,98	2,54
2019		0,90	0,06	2,07%	0,90	0,47	-43,18	239,28	2,63
2020		0,95	0,06	2,17%	0,95	0,76	-24,77	235,45	2,43
2002/2020	Totale	0,70	0,15	5,28%	0,88	0,67	-27,15	231,59	2,47
2002		0,94	0,05	1,98%	0,94	0,56	-28,97	236,47	2,49
2003		0,93	0,09	3,10%	0,91	0,87	-20,12	216,93	2,41
2004		0,95	0,05	2,04%	0,95	0,74	-26,89	251,29	2,40
2005		0,95	0,05	1,72%	0,95	0,61	-28,93	239,25	2,53
2006		0,94	0,05	1,89%	0,94	0,56	-55,85	236,02	2,57
2007		0,90	0,07	2,58%	0,90	0,65	-28,42	228,75	2,55
2008		0,95	0,05	1,83%	0,95	0,83	-18,19	236,66	2,41
2009		0,97	0,05	1,72%	0,97	0,78	-29,14	229,10	2,47
2010		0,93	0,08	2,63%	0,93	1,36	-12,72	236,08	2,24
2011		0,98	0,05	1,71%	0,98	0,83	-28,47	224,93	2,31
2012		0,96	0,06	2,22%	0,96	0,87	-29,81	231,37	2,41
2013		0,94	0,06	2,26%	0,94	0,85	-27,07	234,20	2,35
2014		0,96	0,05	1,86%	0,96	0,82	-20,08	239,65	2,32
2015		0,95	0,06	2,24%	0,95	0,95	-22,00	225,55	2,37
2016		0,96	0,06	2,07%	0,96	0,96	-21,95	243,61	2,31
2018		0,95	0,06	2,20%	0,95	0,82	-32,14	227,56	2,53
2019		0,91	0,06	2,00%	0,91	0,46	-52,06	239,67	2,64
2020		0,93	0,07	2,49%	0,93	0,83	-21,15	236,69	2,42

Tabella 5: parametri delle curve dell'acido tartarico e relativi indici di bontà del *fitting*.

Anno	Area	R ²	RMSE	RRMSE	EF	a	b
2004/2016	Colline	0,61	1,78	19,57%	0,61	181,17	-0,013
2004	Fascia Nord	0,90	0,82	9,22%	0,89	306,72	-0,014
2005		0,97	0,36	3,87%	0,97	431,77	-0,017
2006		0,98	0,56	5,87%	0,98	1882,33	-0,023
2007		0,94	0,61	6,91%	0,94	189,29	-0,014
2008		0,95	0,54	6,31%	0,95	948,61	-0,020
2009		0,95	0,48	5,10%	0,94	165,08	-0,013
2010		0,95	0,52	5,25%	0,95	315,33	-0,015
2011		0,99	0,24	2,99%	0,99	207,10	-0,015
2012		0,95	0,70	7,30%	0,95	474,25	-0,017
2013		0,92	0,83	8,16%	0,92	309,36	-0,015
2014		0,95	0,45	5,05%	0,95	105,70	-0,011
2015		0,98	0,38	6,65%	0,97	2620,70	-0,027
2016		0,96	0,53	5,88%	0,96	370,13	-0,016
2004/2016	Colline	0,64	1,75	19,96%	0,64	225,37	-0,014
2004	Fascia Sud	0,88	0,92	10,53%	0,87	234,54	-0,014
2005		0,97	0,43	4,75%	0,97	650,69	-0,019
2006		0,99	0,42	4,33%	0,99	1036,42	-0,020
2007		0,97	0,25	3,28%	0,97	165,64	-0,014
2008		0,94	0,62	6,72%	0,94	378,81	-0,016
2009		0,90	0,60	6,64%	0,90	122,83	-0,012
2010		0,94	0,65	6,84%	0,93	354,07	-0,016
2011		0,99	0,18	2,52%	0,99	194,54	-0,015
2012		0,95	0,82	8,68%	0,95	924,34	-0,020
2013		0,92	0,86	8,71%	0,92	351,56	-0,015
2014		0,92	0,64	7,81%	0,92	143,97	-0,013
2015		0,98	0,35	6,33%	0,98	3204,95	-0,028
2016		0,96	0,57	6,23%	0,96	382,49	-0,016
2004/2016	Pianura e Fondovalle	0,64	1,85	20,42%	0,64	283,63	-0,015
2004		0,95	0,56	6,13%	0,95	399,73	-0,015
2005		0,94	0,49	5,81%	0,94	623,91	-0,018
2006		0,98	0,63	6,10%	0,98	1364,53	-0,022
2007		0,95	0,45	5,67%	0,94	241,89	-0,015
2008		0,93	0,76	7,90%	0,92	487,21	-0,017
2009		0,92	0,68	7,33%	0,92	378,48	-0,016
2010		0,95	0,55	5,55%	0,95	370,01	-0,016
2011		0,96	0,42	5,49%	0,96	293,05	-0,016
2012		0,85	1,52	14,85%	0,85	931,02	-0,020
2013		0,97	0,49	5,18%	0,97	1208,47	-0,020
2014		0,96	0,47	5,57%	0,96	188,83	-0,014
2015		0,97	0,42	7,61%	0,97	4415,68	-0,030
2016		0,96	0,57	5,95%	0,96	354,15	-0,016
2004/2016	Totale	0,64	1,78	19,91%	0,64	244,85	-0,015
2004		0,86	0,93	10,72%	0,85	281,88	-0,014
2005		0,95	0,52	5,69%	0,95	493,84	-0,017
2006		0,96	0,81	7,78%	0,96	1083,06	-0,021
2007		0,94	0,55	6,38%	0,94	209,15	-0,015
2008		0,95	0,55	6,41%	0,94	852,32	-0,019
2009		0,85	0,75	8,40%	0,85	181,36	-0,013
2010		0,94	0,61	6,27%	0,94	345,69	-0,016
2011		0,97	0,36	4,55%	0,97	222,28	-0,015
2012		0,90	1,15	11,81%	0,89	741,77	-0,019
2013		0,96	0,55	5,84%	0,96	706,89	-0,018
2014		0,94	0,55	6,51%	0,94	150,99	-0,013
2015		0,98	0,39	7,01%	0,97	3334,87	-0,028
2016		0,95	0,61	6,57%	0,95	368,74	-0,016

Tabella 6: parametri della curva dell'acido malico e relativi indici di bontà del *fitting*.

Anno	Area	R ²	RMSE	RRMSE	EF	a	b
2004/2016	Colline Fascia Nord	0,65	4,62	36,34%	0,63	3,30E+04	-0,034
2004		0,99	0,72	4,93%	0,99	2,26E+04	-0,030
2005		0,97	1,38	8,17%	0,97	1,64E+05	-0,040
2006		0,97	1,42	11,80%	0,97	7,44E+05	-0,048
2007		0,99	0,84	7,95%	0,99	4,85E+05	-0,048
2008		0,98	1,15	9,49%	0,97	1,15E+06	-0,047
2009		0,97	1,82	13,52%	0,96	1,93E+06	-0,053
2010		0,99	0,67	4,81%	0,99	1,60E+05	-0,040
2011		1,00	0,37	3,54%	1,00	8,74E+05	-0,050
2012		0,99	0,83	7,70%	0,99	1,36E+06	-0,052
2013		0,97	1,55	12,68%	0,96	2,75E+06	-0,052
2014		0,99	0,52	4,57%	0,99	5,83E+03	-0,027
2015		0,84	4,37	41,24%	0,61	4,82E+08	-0,081
2016	0,97	1,21	10,46%	0,97	7,51E+05	-0,047	
2004/2016	Colline Fascia Sud	0,65	4,73	42,20%	0,62	7,46E+04	-0,038
2004		0,98	1,29	9,12%	0,98	5,29E+04	-0,034
2005		0,99	0,96	6,53%	0,99	7,89E+05	-0,047
2006		0,99	0,62	5,73%	0,99	1,08E+06	-0,050
2007		0,99	0,69	5,57%	0,99	1,99E+05	-0,045
2008		0,97	1,44	10,51%	0,97	5,04E+05	-0,044
2009		0,99	0,68	5,88%	0,99	3,68E+06	-0,057
2010		0,98	1,04	7,64%	0,98	2,79E+05	-0,044
2011		0,99	0,68	7,76%	0,99	1,56E+06	-0,054
2012		0,97	1,58	15,13%	0,96	2,91E+06	-0,057
2013		0,99	0,63	6,36%	0,99	9,31E+06	-0,058
2014		0,99	0,45	4,02%	0,99	6,65E+03	-0,028
2015		0,99	0,49	5,11%	0,99	2,30E+08	-0,078
2016	0,96	1,95	17,72%	0,94	1,91E+06	-0,052	
2004/2016	Pianura e Fondovalle	0,66	4,63	38,14%	0,65	6,98E+04	-0,038
2004		0,98	0,96	6,87%	0,98	5,38E+04	-0,034
2005		1,00	0,28	1,96%	1,00	1,11E+06	-0,048
2006		0,97	1,61	13,73%	0,97	7,79E+05	-0,048
2007		0,98	0,86	9,94%	0,98	4,30E+05	-0,047
2008		0,98	1,14	9,53%	0,97	2,28E+06	-0,050
2009		1,00	0,55	4,91%	1,00	2,49E+07	-0,064
2010		1,00	0,57	4,45%	0,99	6,58E+05	-0,047
2011		0,99	0,42	5,55%	0,99	1,61E+06	-0,053
2012		1,00	0,16	2,03%	1,00	5,82E+06	-0,058
2013		0,99	0,94	8,43%	0,99	8,57E+06	-0,057
2014		0,99	0,36	3,57%	0,99	1,02E+04	-0,029
2015		0,99	0,56	5,63%	0,99	3,14E+08	-0,079
2016	0,97	1,33	12,65%	0,97	3,82E+06	-0,054	
2004/2016	Totale	0,65	4,71	39,18%	0,63	5,53E+04	-0,037
2004		0,94	1,90	12,61%	0,94	2,80E+04	-0,031
2005		0,95	1,72	10,73%	0,95	3,50E+05	-0,043
2006		0,97	1,40	12,13%	0,97	8,56E+05	-0,049
2007		0,95	1,89	15,01%	0,94	1,70E+05	-0,044
2008		0,92	2,21	15,95%	0,92	4,43E+05	-0,044
2009		0,96	1,48	14,23%	0,96	8,46E+06	-0,060
2010		0,97	1,28	9,99%	0,96	3,31E+05	-0,044
2011		0,98	0,92	9,48%	0,98	1,34E+06	-0,053
2012		0,96	1,57	16,08%	0,96	2,66E+06	-0,055
2013		0,97	1,46	13,11%	0,97	6,03E+06	-0,055
2014		0,96	1,01	8,70%	0,96	5,57E+03	-0,027
2015		0,97	1,37	14,60%	0,94	2,93E+09	-0,089
2016	0,96	1,50	14,45%	0,95	2,45E+06	-0,052	

4.2 Correlazione anomalie climatologiche e di maturazione

4.2.1 Anomalie climatologiche

A partire dai dati della capannina Arpav di Valdobbadiene - Bigolino (TV), sono state ricavate le anomalie meteorologiche per il periodo preso in esame (2002-2020). Le anomalie sono state riferite a scala annuale, mensile e bimestrale per i parametri di temperatura massima, temperatura minima e piovosità. Dopo aver individuato la media generale del parametro d'interesse per un determinato periodo, ne è stato calcolato, per differenza, lo scostamento in termini assoluti per ogni anno. Le anomalie di temperatura massima e minima derivano dalla media delle temperature massime giornaliere e minime giornaliere, rispettivamente.

4.2.2 Anomalie di maturazione

Per ogni parametro di maturazione, come già accennato, sono state individuate 18 soglie. Le curve derivanti dal *fitting* dei dati hanno permesso di ricavare, per intersezione, il preciso giorno dell'anno (DOY) in cui un determinato parametro ha raggiunto una determinata soglia, annualmente. Il risultato è stato un quadro completo degli anticipi o dei ritardi sul raggiungimento delle soglie, indicati rispettivamente con segno negativo (-) oppure positivo (+).

4.2.3 Correlazioni tra anomalie

Ottenuti i valori delle anomalie per ciascun parametro, si è proceduto allo studio di tutte le possibili correlazioni tra le anomalie meteorologiche per ogni variabile misurata e le anomalie di maturazione ad ogni specifica soglia. In particolare, sono state calcolate le regressioni lineari con intercetta pari a zero tra le anomalie di tutti gli anni per una determinata soglia e tutte le anomalie per ciascun parametro meteorologico e ciascun periodo dell'anno. In totale sono state calcolate più di 25.000 regressioni lineari, ciascuna restituendo il valore dell' R^2 , il coefficiente angolare della retta di regressione e dell'errore standard. I valori del coefficiente di determinazione (R^2) sono stati sfruttati per costruire dei grafici di tipo *heatmap*, ossia dei grafici nei quali il valore è indicato da una scala di colori, in modo tale da rendere evidente a colpo d'occhio le aree del grafico che corrispondono alle regressioni più significative. Dalla **Figura 8** alla **Figura 25** sono riportati suddetti grafici. La scala a destra del grafico riporta la corrispondenza colore-valore, differente per ciascun grafico in

relazione ai valori massimi e minimi che devono essere rappresentati. In alcuni casi i primi valori a partire dall'alto sono oscurati: rappresentando le ultime soglie non sempre raggiunte, i valori non sarebbero attendibili.

4.3 Anomalie titolo zuccherino

4.3.1 Heatmap

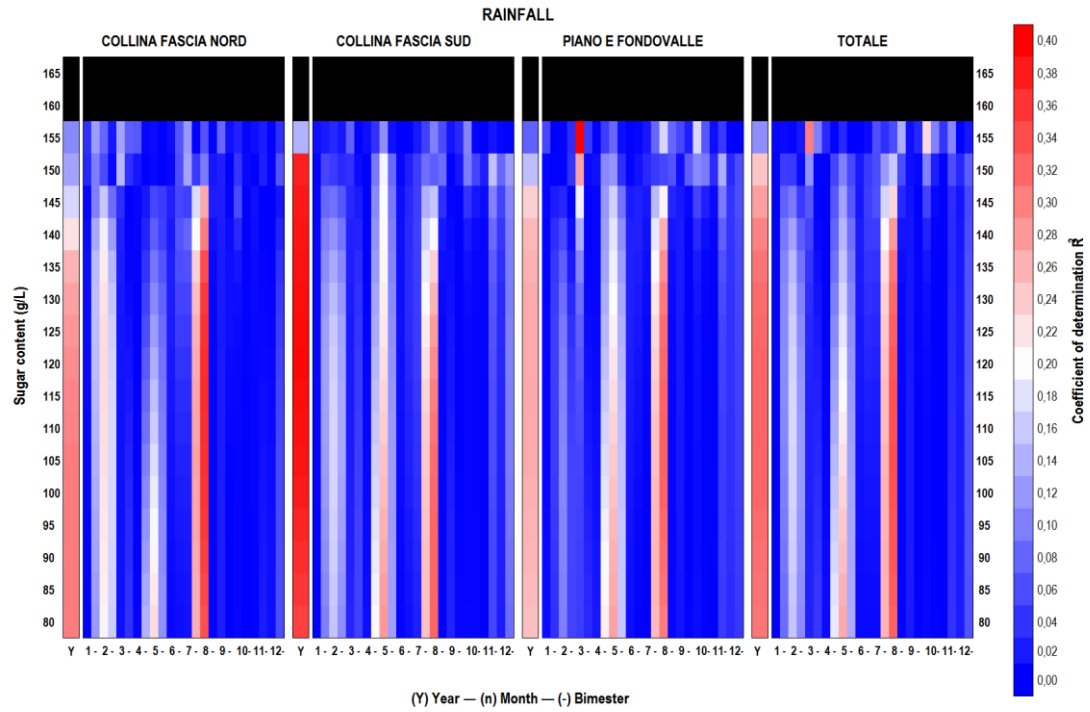


Figura 7: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari grado zuccherino-precipitazioni.

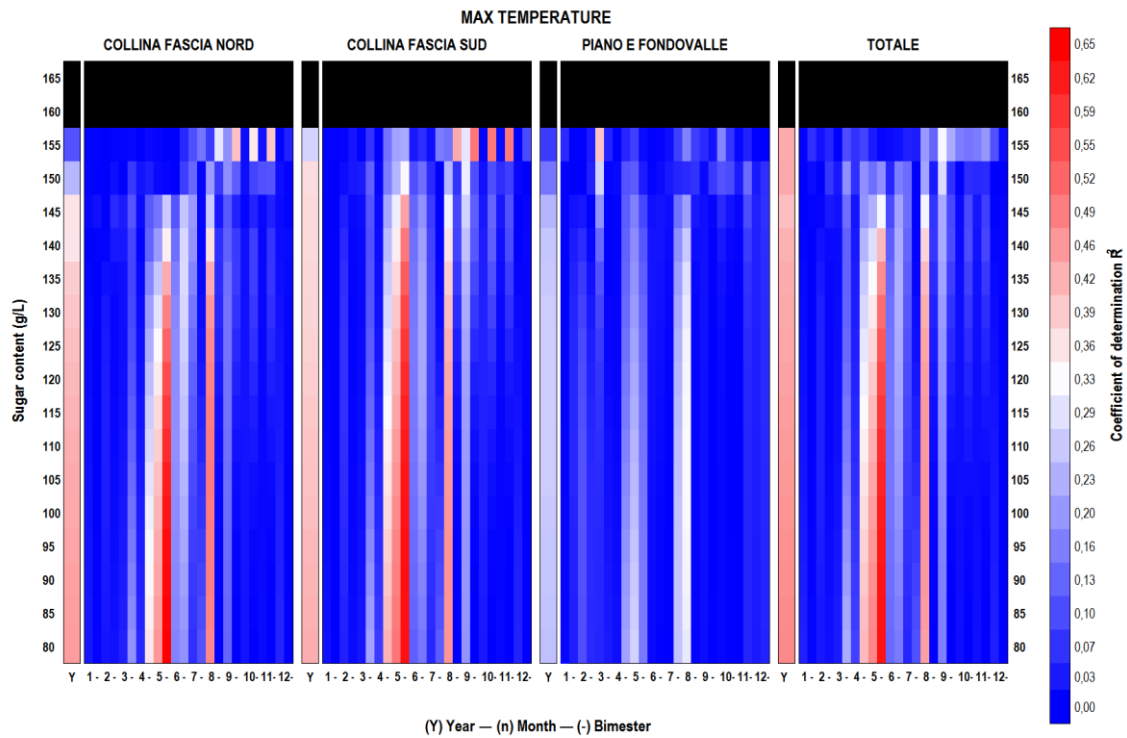


Figura 8: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari grado zuccherino-temperature massime.

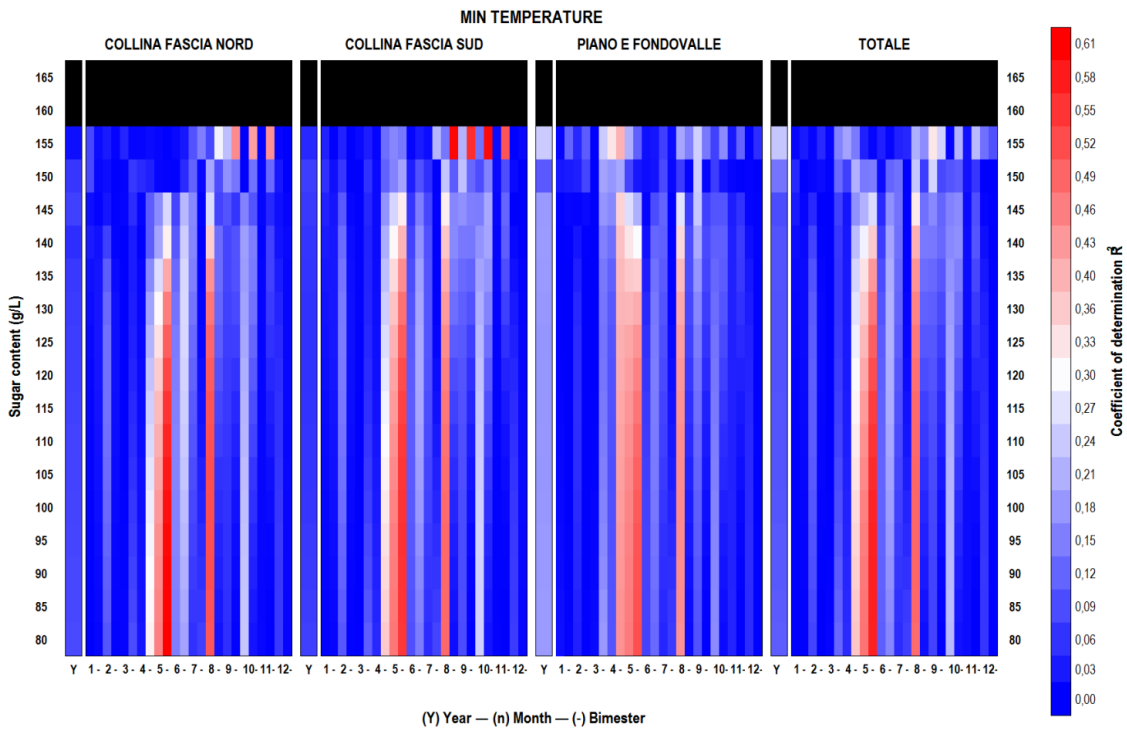


Figura 9: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari grado zuccherino-temperature minime.

4.3.2 Correlazioni significative

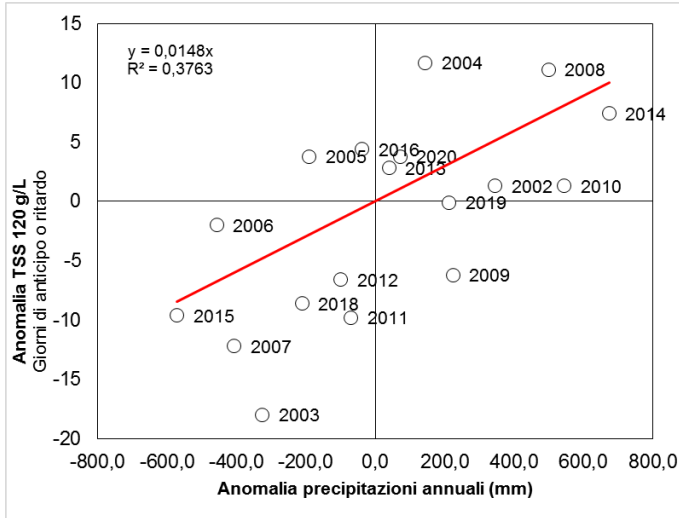


Figura 10: il grafico in figura mostra la correlazione tra le precipitazioni annuali e anomalie nel raggiungimento della soglia di 120 g/L TSS. I dati riguardano la fascia collinare meridionale.

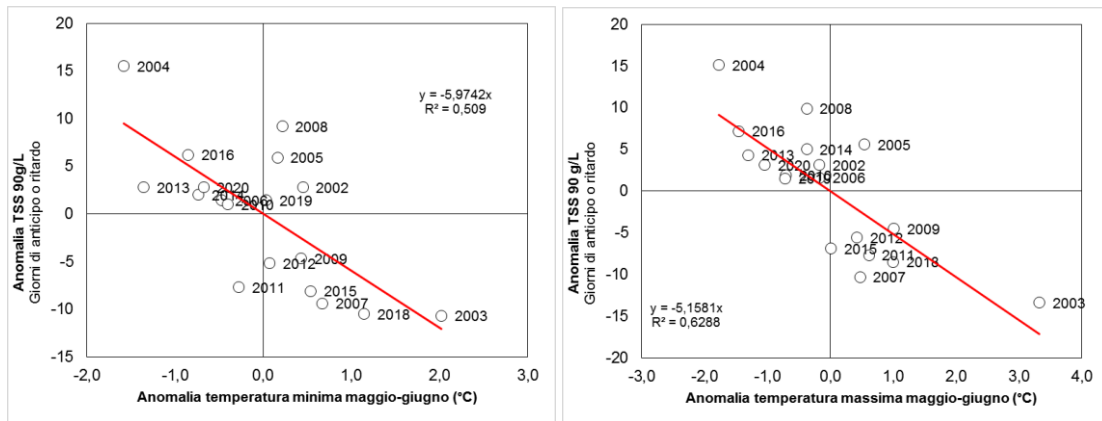


Figura 11: i grafici in figura rappresentano le correlazioni tra le anomalie di temperature massime e minime nei mesi di maggio e giugno e le anomalie nel raggiungimento della soglia dei 90 g/L TSS, osservate in entrambi i casi sul totale dei campioni.

4.3.3 Considerazioni

Osservando il grafico *heatmap* relativo alle regressioni lineari precipitazioni-grado zuccherino, è evidente la presenza di correlazioni significative nel caso della fascia collinare Sud, in particolare considerando l'intero anno. La maggiore risposta di questa zona è probabilmente dovuta ai suoli tendenzialmente favorevoli alla carenza idrica. Il grafico in figura 26 mostra un ritardo di un giorno nel raggiungimento della soglia dei 120 g/L TSS ogni circa 70 mm in più di precipitazioni all'anno.

Per quanto concerne le temperature massime e minime, si nota un'influenza minore nelle zone pianeggianti e di fondovalle, evidentemente meno sensibili alle temperature elevate. I mesi di maggio e giugno risultano comunque quelli maggiormente correlati, probabilmente a causa della forte influenza del clima di quel periodo nella determinazione dell'anticipo o del ritardo dell'annata. La retta mostra che un grado in più sulle temperature massime e minime può determinare un anticipo che va dai 5 a 6 giorni. La correlazione è più evidente nel caso delle temperature massime, che si manifestano di giorno, quando la pianta è in attività.

4.4 Anomalie acidità totale

4.4.1 Heatmap

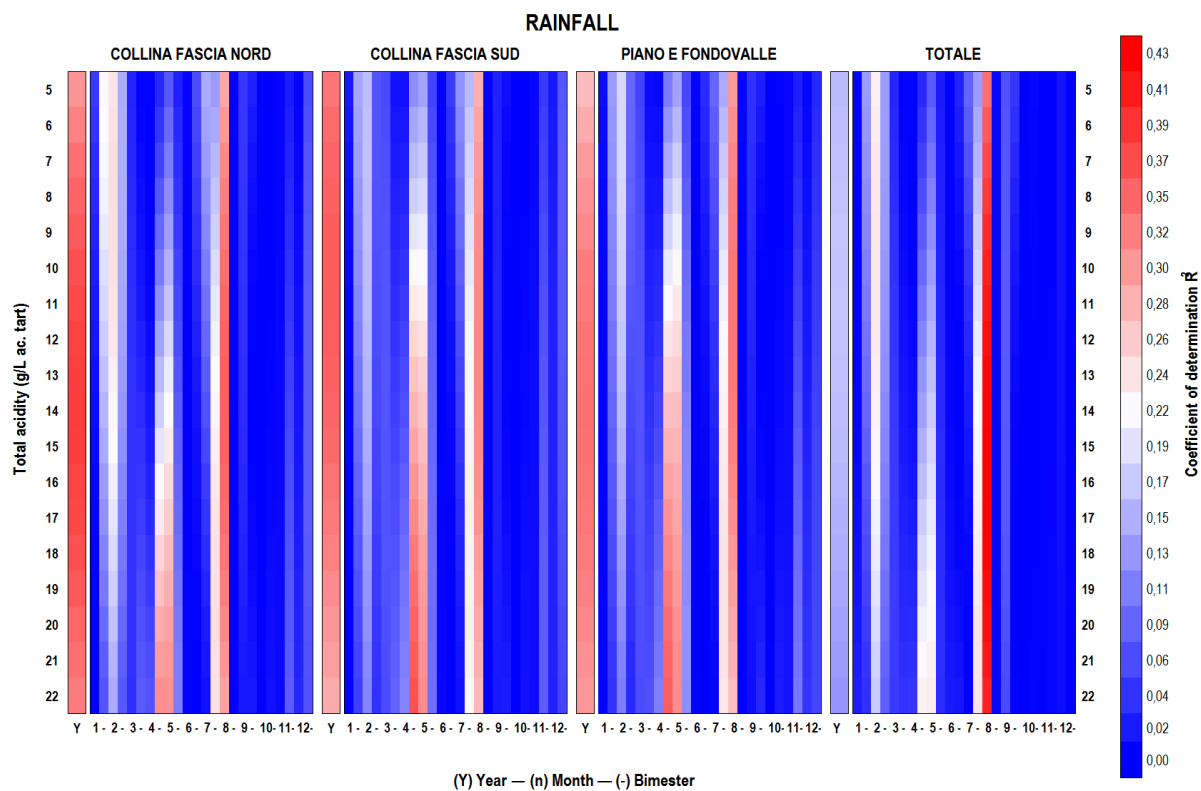


Figura 12: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari acidità totale-precipitazioni.

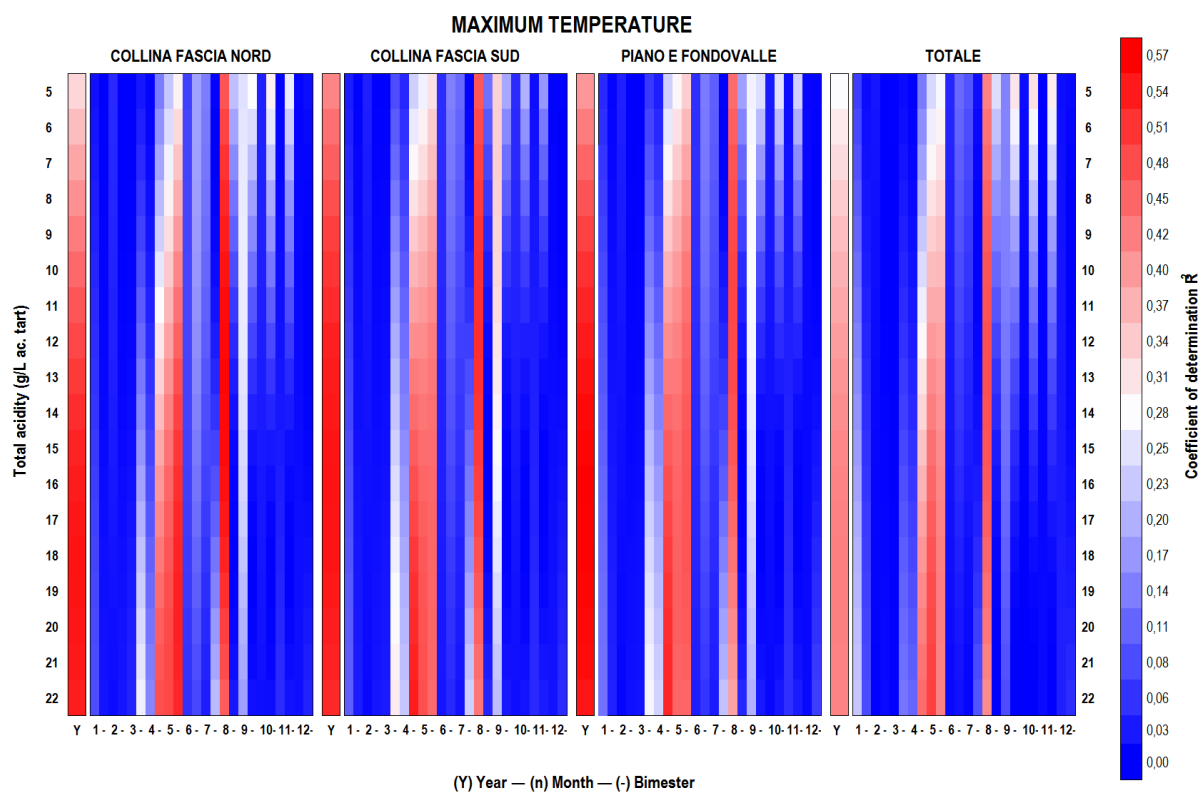


Figura 13: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari acidità totale-temperature massime.

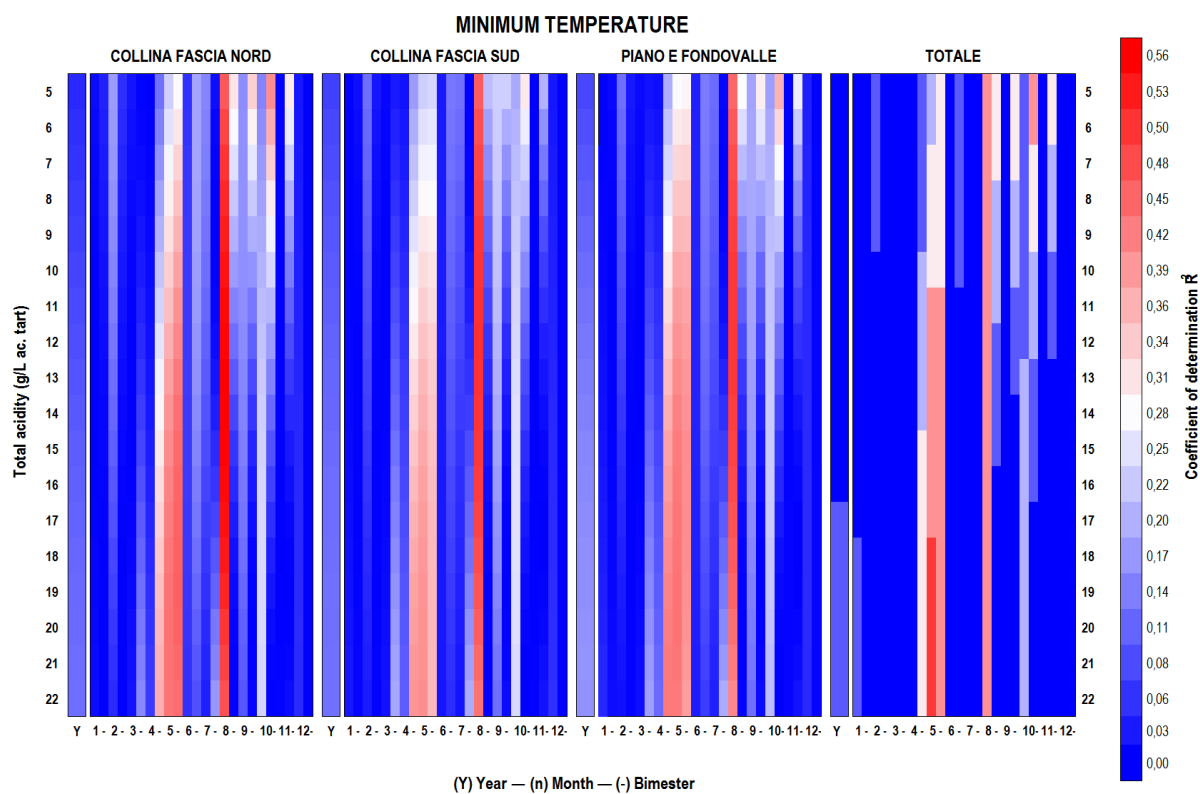


Figura 14: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari acidità totale-temperature minime.

4.4.2 Correlazioni significative

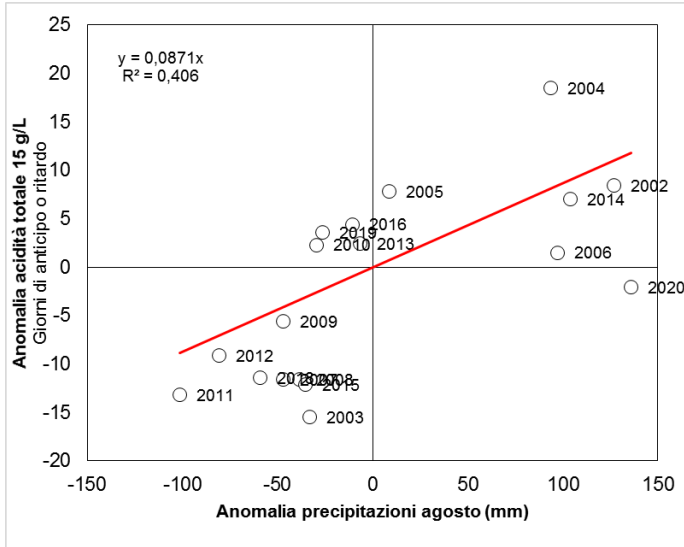


Figura 15: il grafico mostra la correlazione tra l'anomalia nel raggiungimento dei 15 g/L e le precipitazioni di agosto, considerando l'insieme dei campioni.

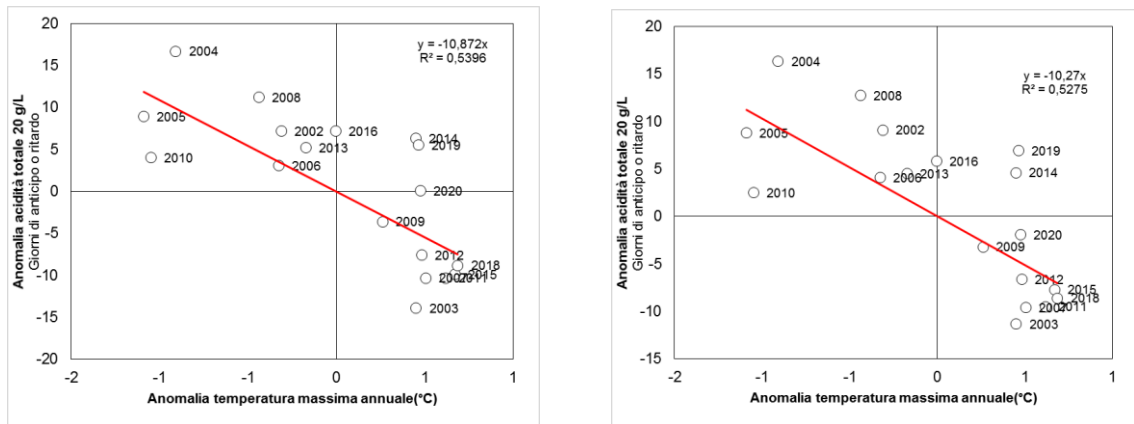


Figura 16: correlazione tra temperature massime annuali e il raggiungimento della soglia dei 20 g/L. I due grafici riguardano la fascia collinare Nord (a sinistra) e Sud (a destra).

4.4.3 Considerazioni

In generale si osserva un'influenza delle precipitazioni di agosto, che tendono ad allungare la curva di maturazione. Probabilmente questo è dovuto al rallentamento della maturazione in seguito al maltempo. Molte annate piuttosto umide ad agosto hanno infatti delle massime annuali inferiori e viceversa. Le temperature massime annuali sono uno dei fattori che contribuisce all'anticipo dell'annata; tuttavia, osservando i quadranti di destra di entrambi i grafici, si può verificare che esiste una differenza di circa 20 giorni tra due anni con temperature massime all'incirca equivalenti, dimostrando quindi la presenza di altri fattori maggiormente determinanti. Dai grafici *heatmap* si osserva che il mese di maggio e i due bimestri che lo contengono hanno un effetto evidente sul raggiungimento delle soglie più elevate, mentre il mese di agosto tende a influenzare le fasi più avanzate della maturazione. Interessante osservare la completa indipendenza dell'acidità totale rispetto ai mesi di giugno e luglio.

4.5 Anomalie pH

4.5.1 Heatmap

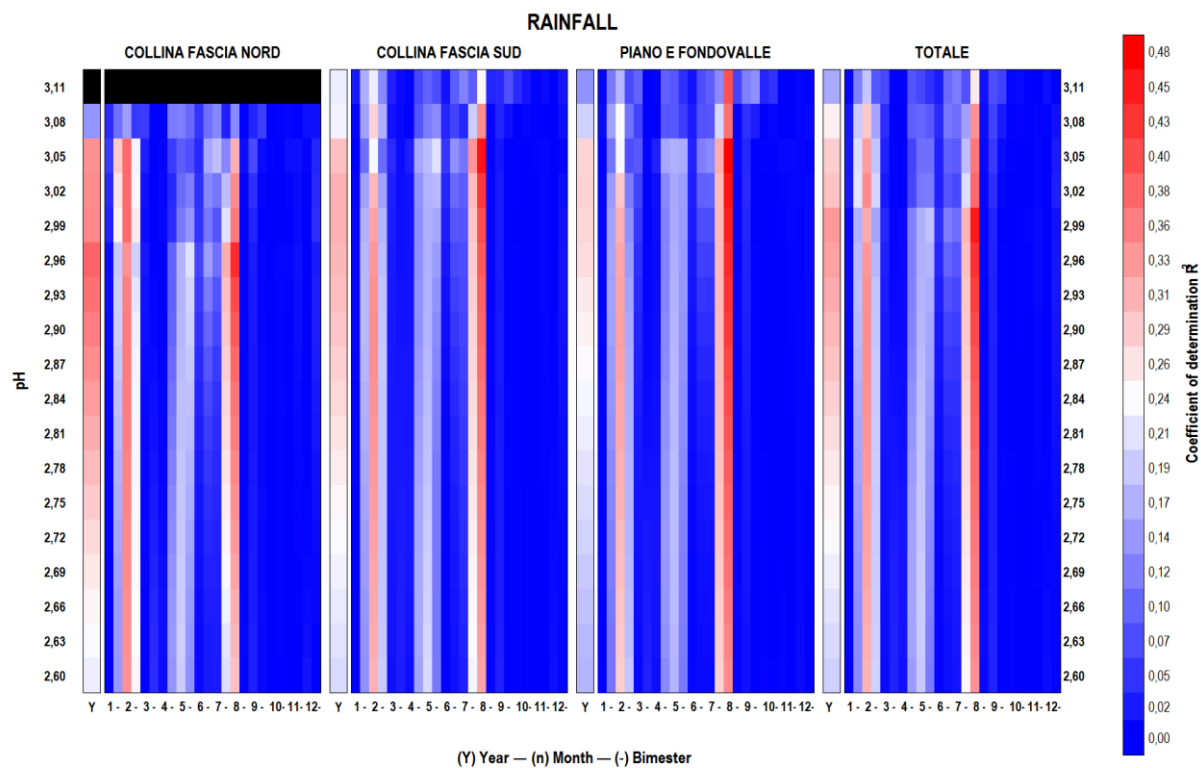


Figura 17: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari pH-precipitazioni.

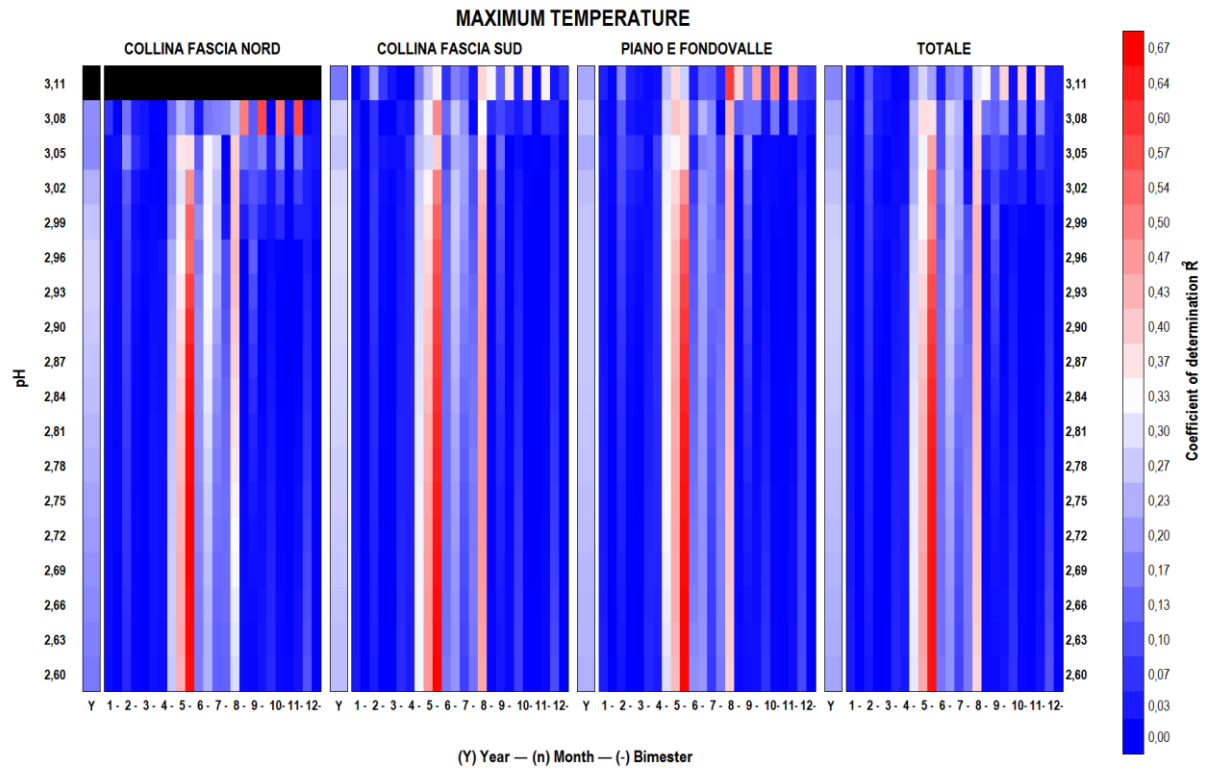


Figura 18: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari pH-temperature massime.

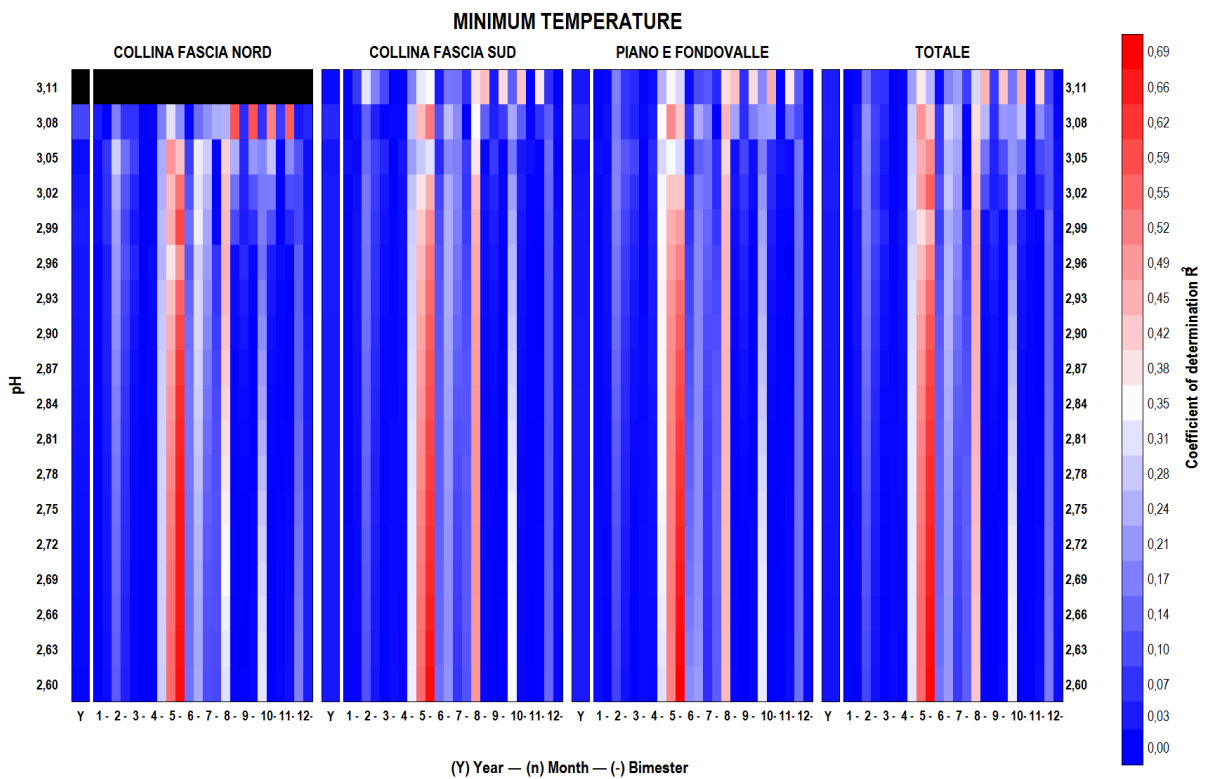


Figura 19: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari pH-temperature minime.

4.5.2 Correlazioni significative

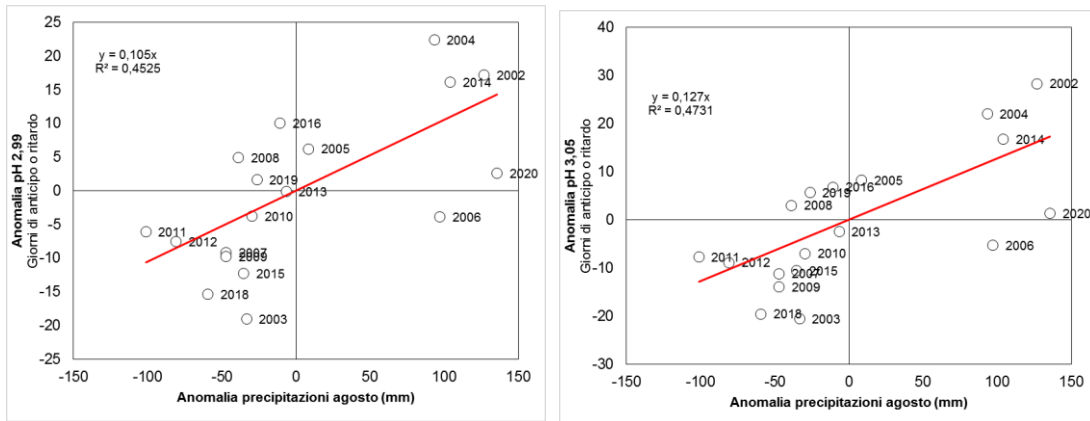


Figura 20: grafici relativi alla correlazione tra il pH e le precipitazioni di agosto nelle zone di pianura e fondovalle (a sinistra) e sul totale (a destra).

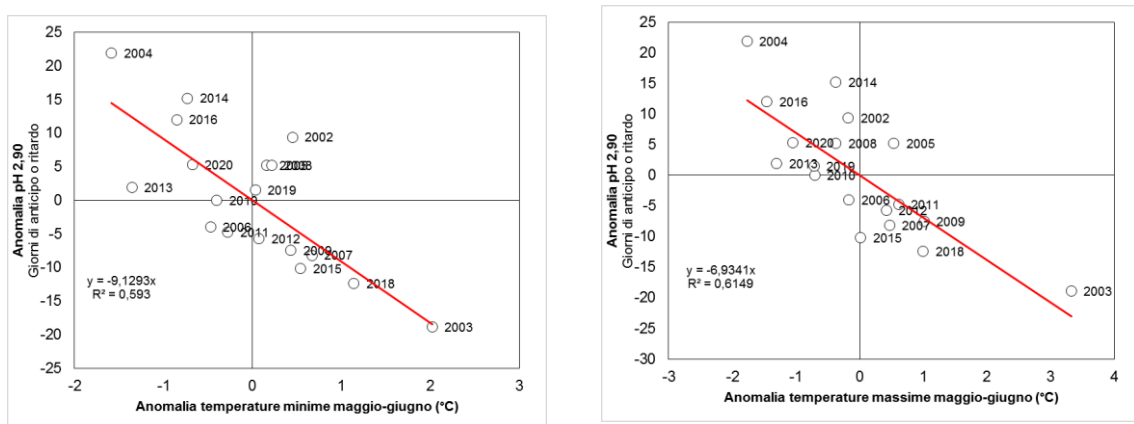


Figura 21: correlazioni tra le anomalie nel raggiungimento della soglia di pH 2,90 e le temperature massime e minime dei mesi maggio e giugno sulla zona collinare settentrionale.

4.5.3 Considerazioni

Per quanto riguarda le precipitazioni, solo il mese di agosto sembra avere un'influenza rilevante sull'andamento del pH. Si osserva, sul grafico *heatmap*, un aumento progressivo del coefficiente di determinazione con l'aumentare dei valori di soglia, vale a dire con i valori più prossimi a quelli della raccolta. Il brusco calo che avviene a 2,99 nella fascia collinare nord, a 3,02 nel totale e a 3,08 nella fascia collinare Sud e nei fondivalle è dovuto al mancato raggiungimento delle soglie, che comporta una scarsità di dati per quelle soglie. I grafici indicano un ritardo proporzionale all'aumento delle precipitazioni. Potrebbe sembrare un dato sbagliato, dato che l'accumulo di acqua dovrebbe far calare l'acidità a causa della maggiore diluizione delle sostanze acide, tuttavia la lettura corretta del fenomeno va ricercata nell'effetto complessivo sulla maturazione comportato da un mese di agosto piovoso, che la rallenta.

I grafici delle temperature massime e minime mostrano l'esistenza di una forte correlazione tra le temperature del bimestre maggio-giugno e il raggiungimento della soglia di pH 2,90: l'aumento delle temperature corrisponde a un anticipo nel raggiungimento della soglia. Probabilmente questo avviene in seguito alla precoce fioritura che spesso si ha se i mesi primaverili hanno temperature più elevate, influenzando a catena le successive fasi fenologiche.

4.6 Anomalie acido tartarico

4.6.1 Heatmap

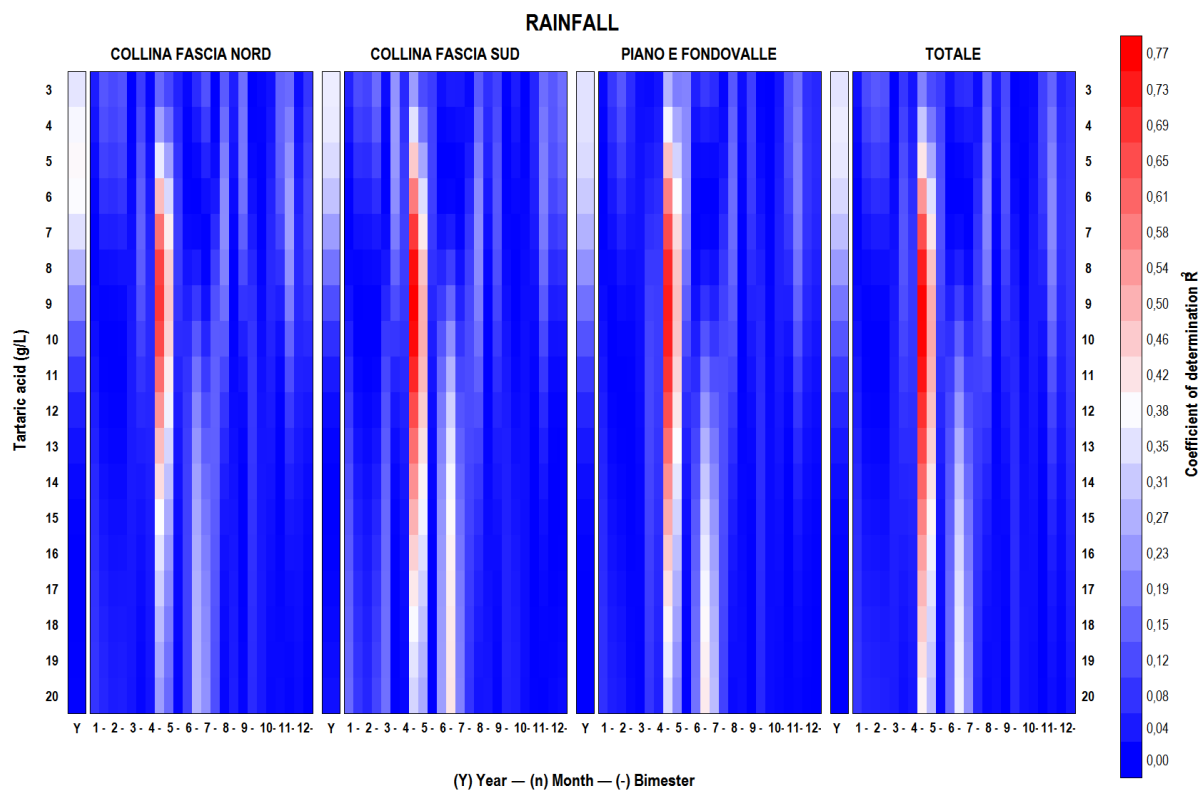


Figura 22: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari acido tartarico-precipitazioni.

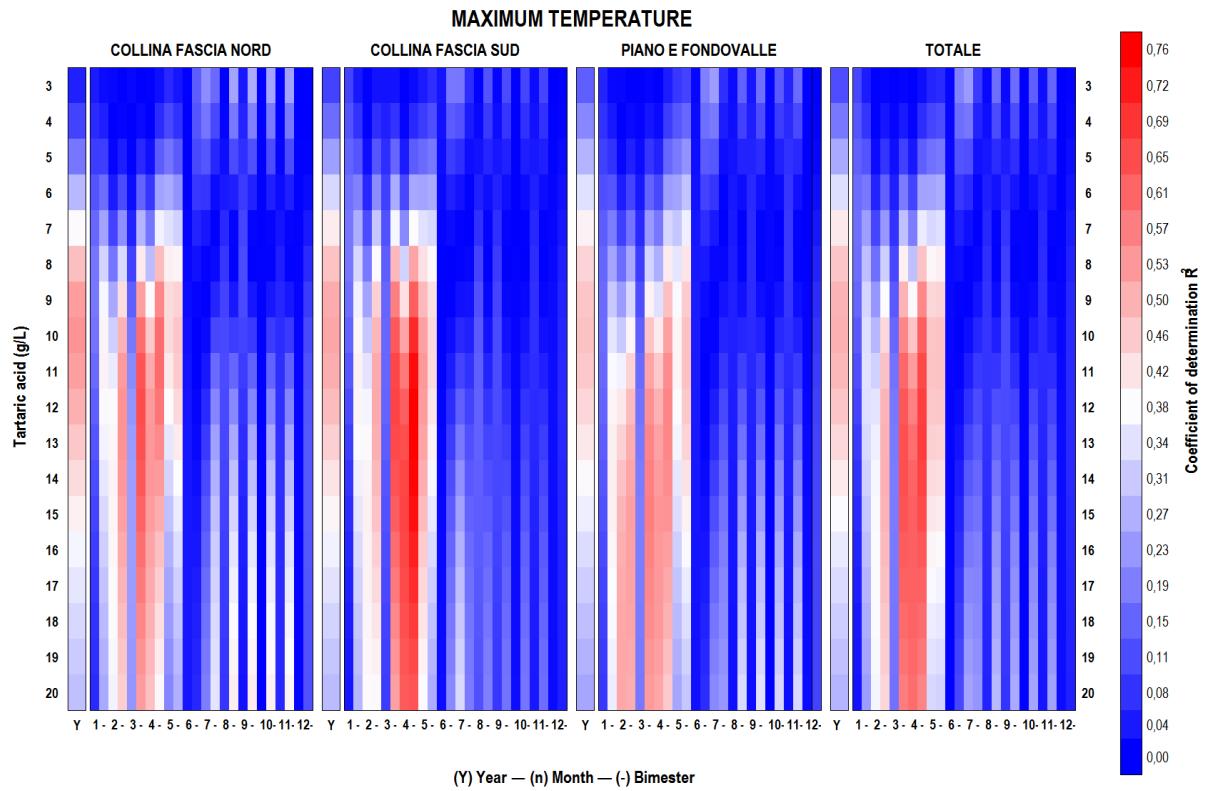


Figura 23: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari acido tartarico-temperature massime.

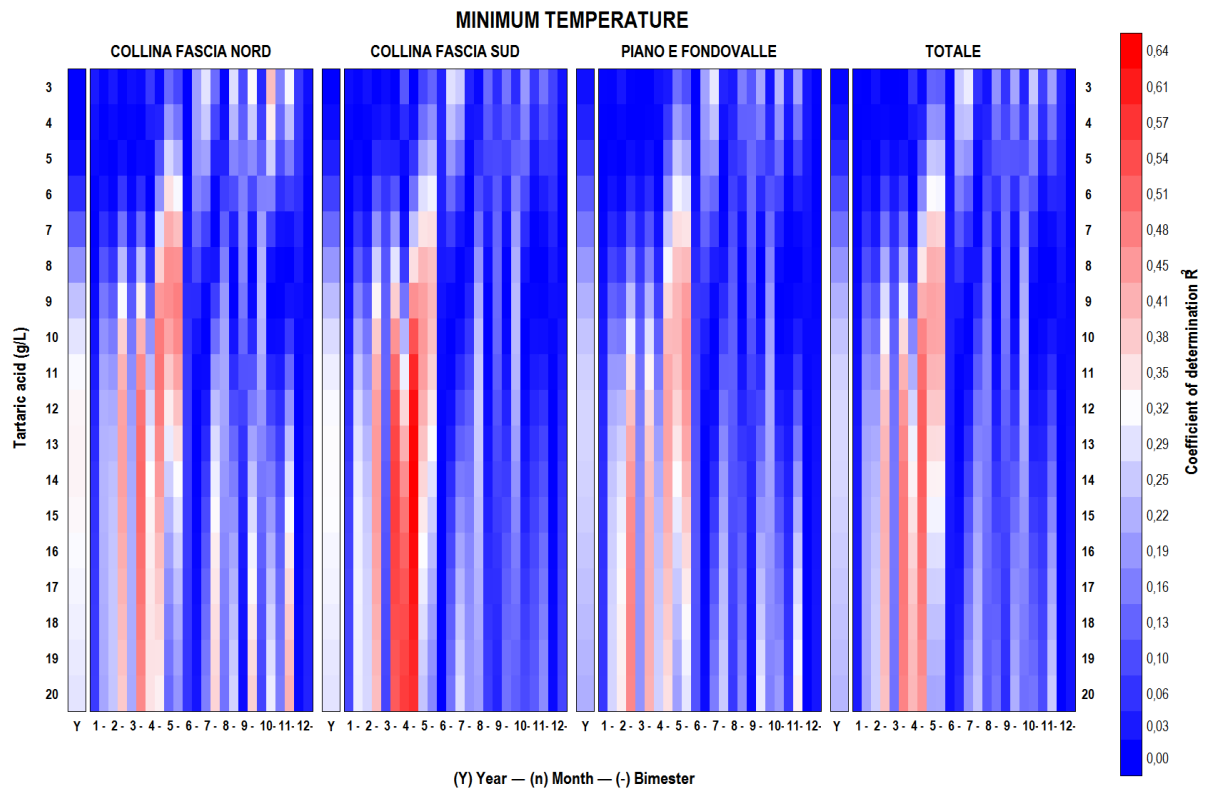


Figura 24: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari acido tartarico-temperature minime.

4.6.2 Correlazioni significative

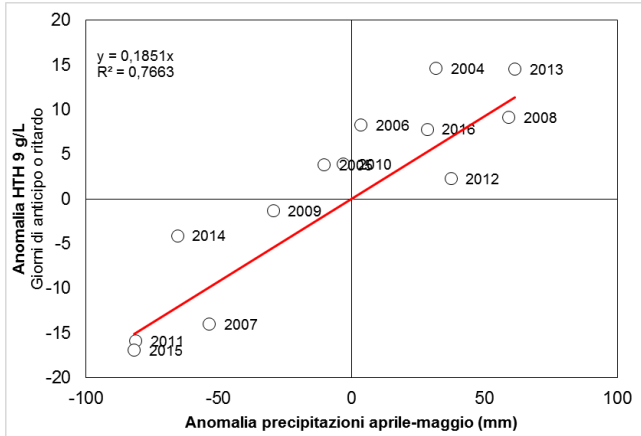


Figura 25: il grafico rappresenta la correlazione tra l'anomalia nel raggiungimento della soglia di 9 g/L di acido tartarico e le anomalie sulle precipitazioni del bimestre aprile-maggio nella fascia collinare Sud.

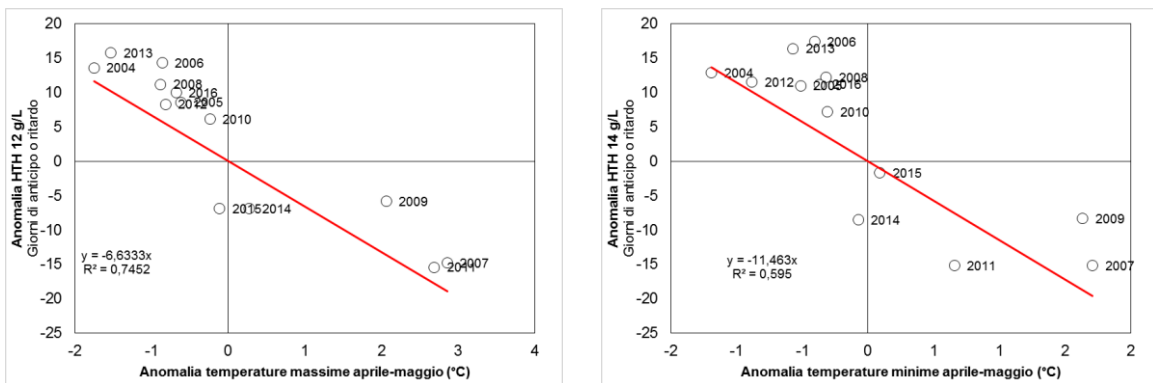


Figura 265: i due grafici mostrano la correlazione tra le anomalie delle temperature massime e minime e le anomalie nel raggiungimento dei 12 e 14 g/L HTH rispettivamente, nella fascia collinare Sud.

4.6.3 Considerazioni

Il grafico *heatmap* relativo alle precipitazioni mostra una correlazione significativa nel bimestre aprile-maggio, e nuovamente, in maniera meno evidente, tra giugno e luglio. Anche in questo caso le precipitazioni hanno l'effetto di ritardare la fenologia della vite, col risultato di spostare in avanti il raggiungimento delle soglie. È interessante osservare come il resto del grafico *heatmap* indichi correlazioni molto basse, dimostrando una forte indipendenza dal clima della curva dell'acido tartarico. La fascia collinare Sud risulta avere le correlazioni più significative, specie nei mesi primaverili, per quanto riguarda le temperature massime e minime. Un grado in più di temperatura minima nel bimestre aprile-maggio può arrivare a causare un anticipo di 11 giorni sul raggiungimento della soglia dei 14 g/L.

4.7 Anomalie acido malico

4.7.1 Heatmap

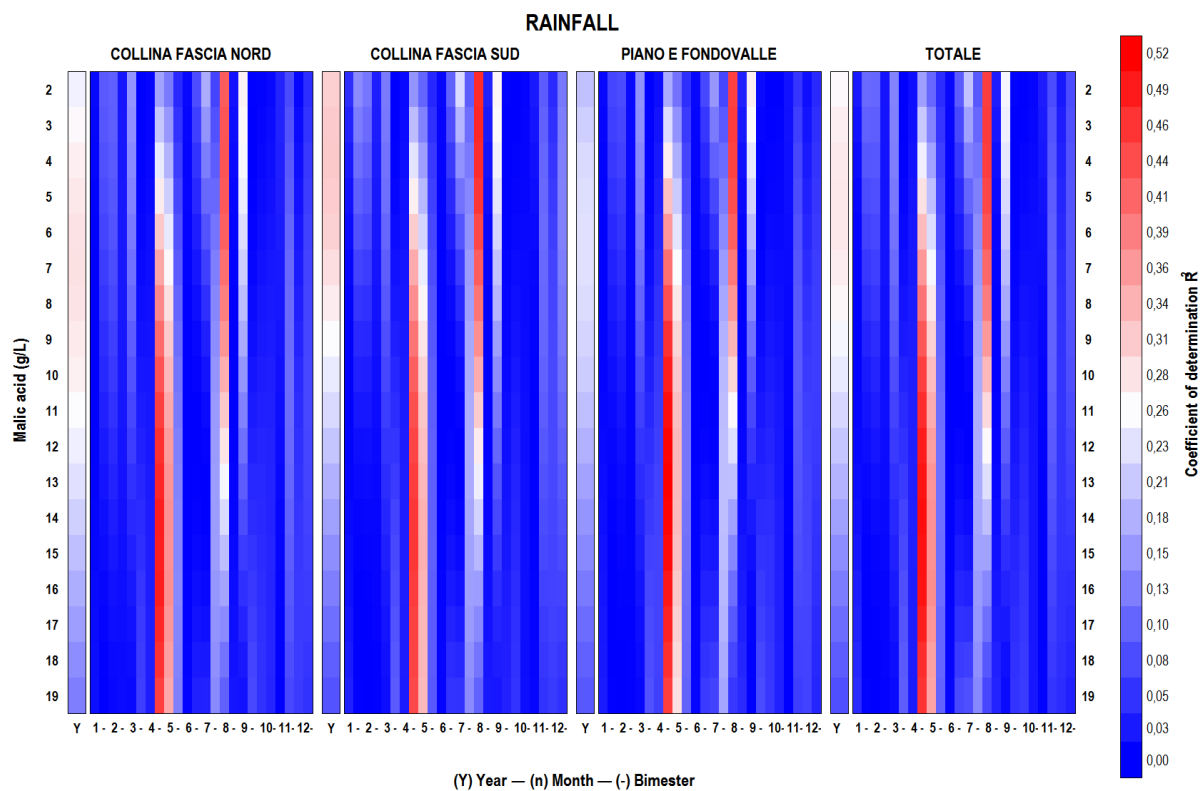


Figura 27: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari acido malico-precipitazioni.

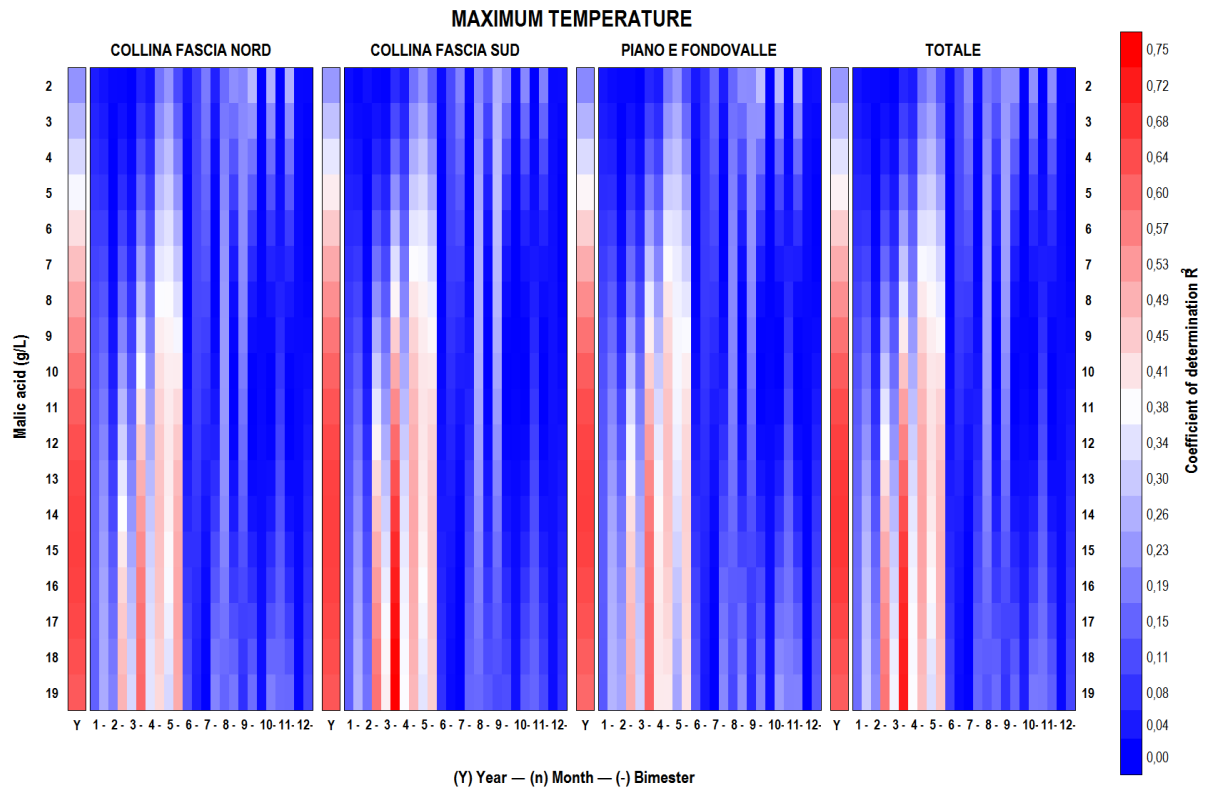


Figura 28: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari acido malico-temperature massime.

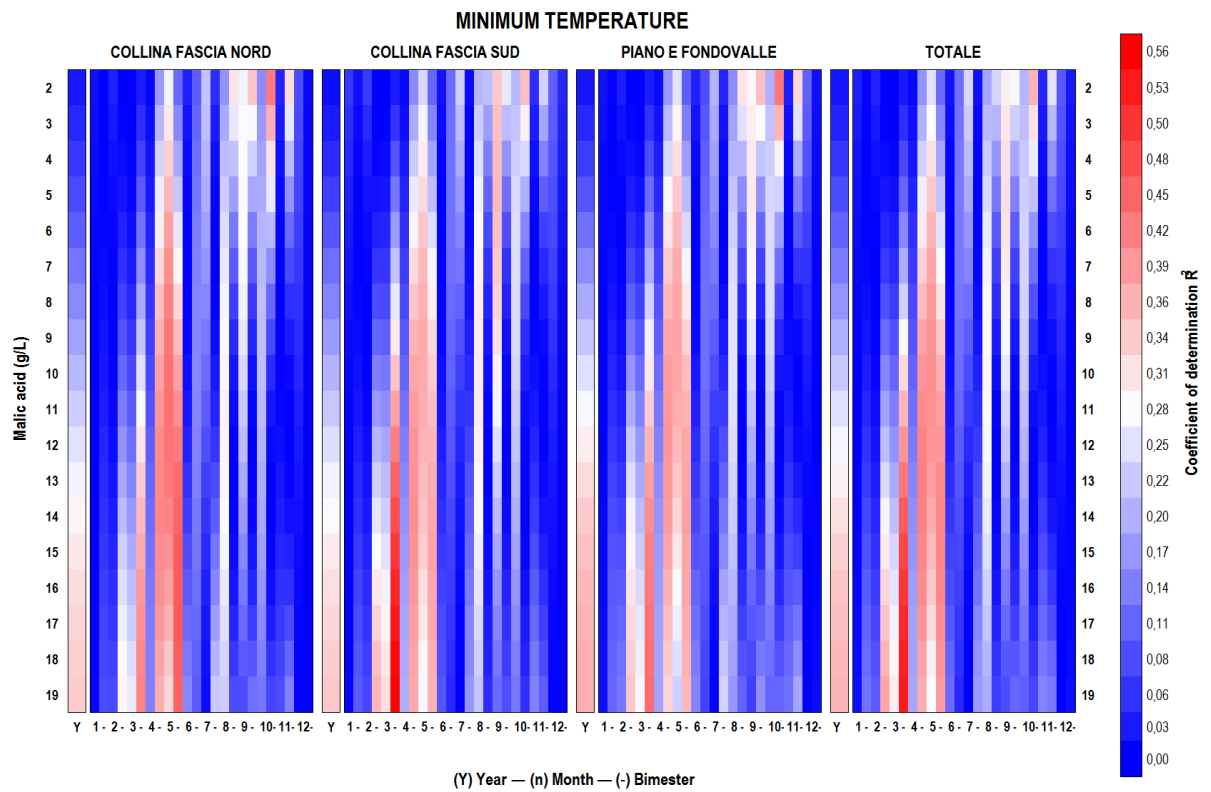


Figura 29: grafico *heatmap* dei valori R^2 delle regressioni lineari acido malico-temperature minime.

4.7.2 Correlazioni significative

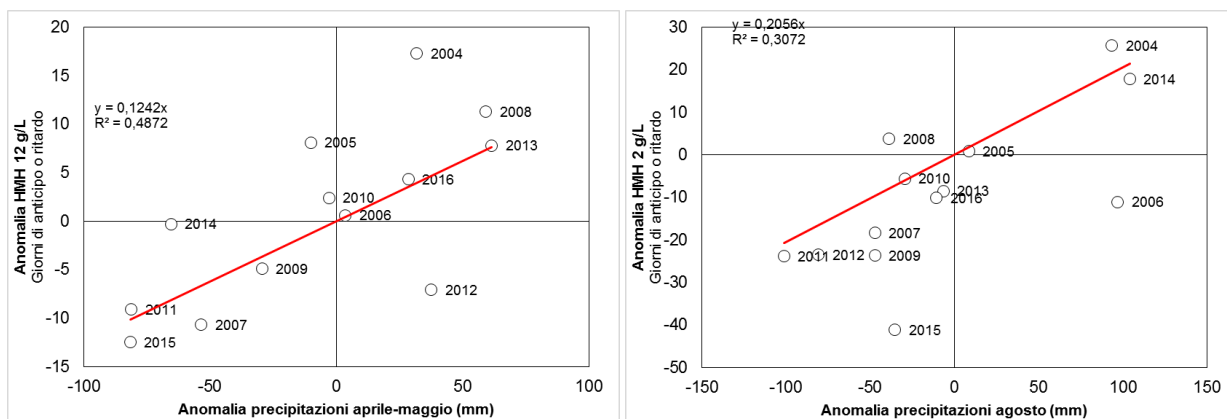


Figura 30: il grafico a sinistra indica la correlazione tra le anomalie delle precipitazioni del bimestre aprile-maggio e il raggiungimento della soglia di 12 g/L di acido malico; il grafico a destra indica la correlazione tra le anomalie delle precipitazioni di agosto e il raggiungimento della soglia dei 2 g/L di acido malico. Entrambi sono riferiti all'intero comprensorio.

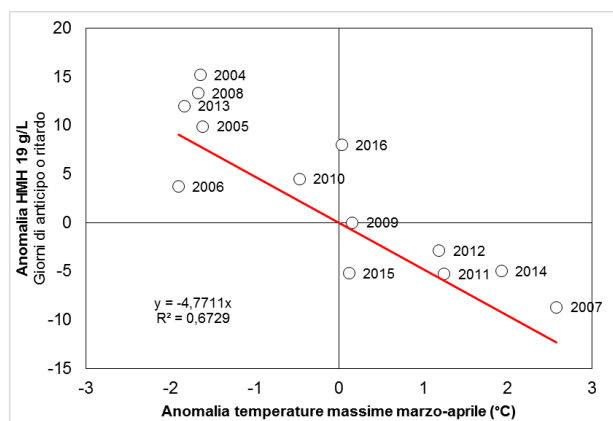


Figura 31: il grafico indica la correlazione tra le anomalie delle temperature massime del bimestre marzo-aprile e le anomalie nel raggiungimento della soglia dei 19 g/L di acido malico nell'intero comprensorio.

4.7.3 Considerazioni

I due grafici riportati mostrano la risposta della curva dell'acido malico alle variazioni sulle precipitazioni nel bimestre aprile-maggio e nel mese di agosto, sul totale dei campioni. Le considerazioni fatte per l'acido tartarico sono ancora valide, tuttavia è interessante notare che nel caso dell'acido malico sia presente una correlazione significativa con le anomalie di agosto, cosa che non sembra verificarsi nel caso dell'acido tartarico. Questo suggerisce che il verificarsi di molti eventi piovosi nel mese di agosto, ossia nell'ultimo periodo potenzialmente molto caldo prima della raccolta, diminuisca la quantità di acido malico degradato ai fini energetici in seguito alla chiusura degli stomi e al blocco dell'attività di fotosintesi. Il mancato consumo dell'acido malico, quindi il mantenimento di una quantità elevata dello stesso all'interno dell'acino, ha come effetto quello di ritardare il raggiungimento delle soglie più basse, come quella dei 2 g/L visibile sul grafico. Per quanto concerne le temperature, i mesi di marzo e aprile sembrano essere quelli più influenti, avendo come effetto quello di anticipare la fenologia. Sul grafico *heatmap* delle precipitazioni e, anche se in misura molto meno evidente, su quello delle temperature minime è possibile osservare che il ruolo dei mesi primaverili ricade principalmente sulle prime fasi della maturazione, fino a circa 10 g/L, oltre i quali il raggiungimento delle soglie dipende dal mese di agosto o comunque dal periodo a ridosso della raccolta.

5 CONCLUSIONI

La correlazione delle anomalie ha mostrato l'effettiva influenza del clima sulla maturazione specialmente in determinati periodi dell'anno. In particolar modo si sono ripetuti alti valori del coefficiente di determinazione nel periodo primaverile, da marzo a giugno, e nel mese di agosto. Nel primo caso i risultati sono da attribuirsi prevalentemente alla diversa risposta della fenologia della vite al clima, principale regolatore della velocità con cui si susseguono le varie fasi fenologiche. Notoriamente, l'intervallo che intercorre tra la fioritura e la raccolta è piuttosto inflessibile, motivo per cui il mese di luglio e i bimestri associati non hanno mostrato influenze significative in nessun caso. Per quanto concerne il mese di agosto, i risvolti del clima sulla maturazione sono più diretti. Le alte temperature hanno tendenzialmente un effetto positivo sull'anticipo del raggiungimento delle varie soglie di maturazione, mentre gli anni con precipitazioni più abbondanti della media hanno registrato dei ritardi.

Un aspetto interessante che emerge dai grafici *heatmap*, nel loro insieme, sono le differenti fasi della maturazione su cui influiscono i mesi primaverili piuttosto che il mese di agosto: se i primi mostrano valori elevati del coefficiente di determinazione nelle prime soglie raggiunte, nel secondo caso i valori più rilevanti si collocano sulle ultime soglie, suggerendo che, ai fini del controllo dei parametri chimici della materia prima, è opportuno monitorare con precisione soprattutto le ultime fasi della stagione e il clima contemporaneo alla maturazione.

6 BIBLIOGRAFIA

- Alikadic, Azra, et al. "The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: A regional study." *Agricultural and forest meteorology* 271 (2019): 73-82.
- Barnuud, Nyamdorj N., et al. "Responses of grape berry anthocyanin and titratable acidity to the projected climate change across the Western Australian wine regions." *International journal of biometeorology* 58.6 (2014): 1279-1293.
- Cameron, W., Petrie, P. R., Barlow, E., Howell, K., Jarvis, C., & Fuentes, S. (2021). A comparison of the effect of temperature on grapevine phenology between vineyards. *OENO One*, 55(2), 301–320. <https://doi.org/10.20870/oenone.2021.55.2.4599>
- Aydinalp, Cumhur A., and Malcolm S. Cresser M.S.. "The effects of global climate change on agriculture." *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 3.5 (2008): 672-676.
- Droulia, Fotoula, and Ioannis Charalampopoulos. "Future Climate Change Impacts on European Viticulture: A Review on Recent Scientific Advances." *Atmosphere* 12.4 (2021): 495.
- Garcia de Cortazar, I., and B. Seguin. "Climate warming: consequences for viticulture and the notion of terroirs in Europe." *VII International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology* 689. 2004.
- Haggerty, Luke LeMay. Ripening profile of grape berry acids and sugars in University of Minnesota wine grape cultivars, select *Vitis vinifera*, and other hybrid cultivars. University of Minnesota, 2013.
- IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable*

development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

Jentsch, Anke, and Carl Beierkuhnlein. "Research frontiers in climate change: effects of extreme meteorological events on ecosystems." *Comptes Rendus Geoscience* 340.9-10 (2008): 621-628.

Lakso, Alan N., and W. Mark Kliewer. "The influence of temperature on malic acid metabolism in grape berries: I. Enzyme responses." *Plant Physiology* 56.3 (1975): 370-372.

Sillmann, J., Roeckner, E. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. *Climatic Change* 86, 83–104 (2008).
<https://doi.org/10.1007/s10584-007-9308-6>

Van Leeuwen, Cornelis, and Philippe Darriet. "The impact of climate change on viticulture and wine quality." *Journal of Wine Economics* 11.1 (2016): 150-167.

Vršič, S., and T. Vodovnik. "Reactions of grape varieties to climate changes in North East Slovenia." *Plant, Soil and Environment* 58.1 (2012): 34-41.