



FEASR



REGIONE DEL VENETO



FONDO EUROPEO AGRICOLO PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE ZONE RURALI

CARATTERIZZAZIONE AGROCLIMATICA DELL'AREA DEL GARDA DOC

Luigi Mariani e Osvaldo Failla

1. IL DATASET UTILIZZATO

Comprende i dati giornalieri di temperatura massima e minima (TX e TN) e precipitazione (RR) di 181 stazioni termo-pluviometriche afferenti alla Lombardia e al Veneto e relativi al periodo che va dal 1° gennaio 1951 al 31 dicembre 2020. I dati utilizzati provengono dalle seguenti reti :

- Servizio meteorologico dell'Aeronautica Militare.
- Arpa Veneto
- Provincia di Brescia
- Consorzi di tutela.

Sul dataset è stato eseguito un controllo di consistenza assoluta con l'esclusione dei dati che eccedevano limiti strumentali e stagionali e un controllo di consistenza relativo che si è basato su regressioni rispetto alla quota. Quest'ultima analisi non ha fatto emergere particolari criticità il che indica che dataset e anagrafica sono coerenti e che non occorre escludere alcuna stazione dall'elaborazione.

Le tabelle riportate nel lavoro si riferiscono alle 14 stazioni in tabella 1 e che ricadono nell'area GARDA doc:

Tabella 1 - Le 12 stazioni che ricadono nel territorio della DOC Garda.

Stazione	acronimo	Longitudine	Latitudine	altezza
Calvagese	CALV	1612357	5043322	210
Dolcè	DOLE	1644210	5051242	105
Grezzana	GREZ	1657307	5041581	156
Lonato	LONA	1619777	5031635	150
Marano	MVLP	1650168	5045646	296
Puegnago	PUEG	1619456	5048354	142
S.Giovanni Ilarione	SGIL	1674000	5046287	320
San Giovanni Ilarione 2	SGLA	1674294	5042229	269
Sirmione	SIRM	1626584	5034807	59
S.Pietro in Cariano	SPIC	1647514	5041286	130
Tremosine	TREM	1635106	5073883	414
Valeggio sul Mincio	VASM	1636013	5023763	120

2. LO SCHEMA SEGUITO NELL'INDAGINE

L'indagine agro climatica è stata condotta ricorrendo a tecniche agrometeorologiche (WMO, 1981) al fine di:

- valutare la vocazione alla viticoltura definendo in termini quantitativi le risorse e le limitazioni climatiche
- individuare sottozone adatte a diversi stili di vino.

Per tali scopi nell'area DOC del Garda sono state indagate le seguenti risorse climatiche:

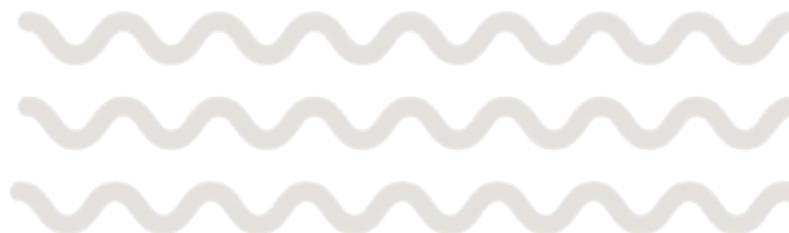
- radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) utile per il processo di fotosintesi e che è alla base della produzione degli zuccheri e delle altre sostanze organiche elaborate dalla vite;
- risorse termiche espresse in forma attraverso l'indice di Winkler, l'indice di Huglin e le ore normali di caldo (NHH);
- risorse idriche del suolo per lo strato esplorato dalle radici e le variabili che le determinano (precipitazioni, evaporazione di superficie, evapotraspirazione reale, ruscellamento, infiltrazione)

Fra gli elementi climatici limitanti, l'attenzione si è concentrata in particolare su:

- stress da caldo;
- stress idrico (siccità);
- precipitazioni abbondanti durante la raccolta e nel periodo immediatamente precedente.

Giova inoltre evidenziare che la ricerca è stata condotta alle seguenti scale spaziali:

- a livello di mesoclima e clima locale, in modo da evidenziare i tratti agroclimatici salienti che incidono sulla vocazione viticola del territorio oggetto di indagine
- a livello di microclima con livelli di dettaglio tali da scendere fino al singolo vigneto. Da ciò deriva il fatto che tutte le carte termiche, pluviometriche, radiative e di bilancio idrico riportate nel testo sono state basate su dati numerici riferiti a celle unitarie di dimensioni di circa 0.25 ha (50 x 50 m).



3. I FATTORI GENERATORI DEL CLIMA DELL'AREA GARDA DOC

Il clima di un territorio è il risultato dell'azione combinata di una serie di fattori che agiscono a diverse scale, dalla macro alla microscala (Pinna, 1972). Dall'esperienza maturata dagli autori con riferimento all'areale dei grandi laghi prealpini nasce l'elenco dei principali fattori che determinano il clima dell'area DOC del Garda presentato in tabella 1.

In particolare ai fattori latitudinali, i cui effetti sulle ciclicità giornaliere e stagionali della radiazione solare e della temperatura sono a tutti noti, si aggiungono i fattori orografici (pendenza, esposizione e giacitura) il cui effetto combinato dà origine al topoclima.

L'azione dei rilievi sul clima è complessa e trae origine in particolare da esposizione, pendenza e giacitura del suolo. Più nello specifico in ordine decrescente di disponibilità di risorse termiche si hanno:

- le aree esposte a mezzogiorno, termicamente più favorite in virtù della maggiore quantità di radiazione solare di cui possono beneficiare
- le aree esposte ad Ovest, per le quali la buona disponibilità di risorse termiche deriva dal fatto che esse sono raggiunte dal sole nel pomeriggio quando l'aria ha già avuto modo di riscaldarsi (il sole lavora sul caldo).
- le aree esposte ad est, le cui risorse termiche risentono negativamente del fatto di essere illuminate dal sole nel primo mattino (il sole lavora sul freddo) e di essere più sensibili alle irruzioni di aria fredda da est
- le aree esposte a nord, termicamente meno favorite perché illuminata dal sole solo in prossimità dell'alba e del tramonto e nel periodo compreso fra l'equinozio primaverile e autunnale.

Gli effetti favorevoli dell'esposizione sono influenzati dalla pendenza del suolo la quale, modificando l'angolo di incidenza dei raggi solari, regola l'accumulo di energia per unità di superficie.

La giacitura infine influenza il clima agendo in particolare sull'entità di accumulo dell'aria fredda nelle ore notturne e del primo mattino.

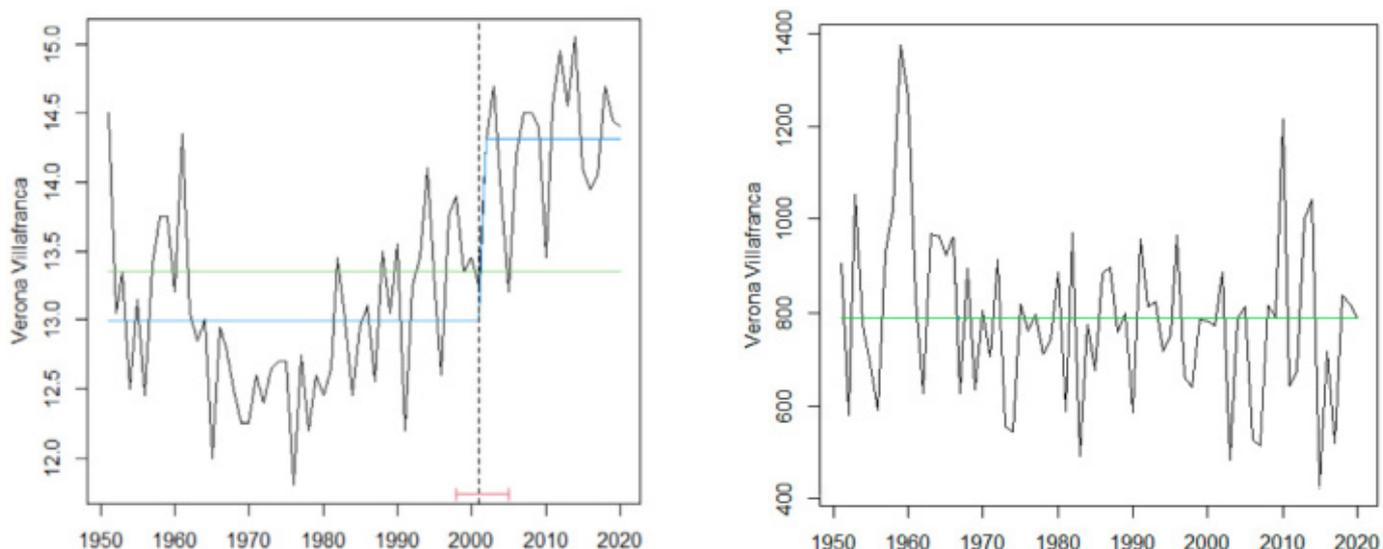


Figura 1 - Analisi di discontinuità (da intendere come transizione brusca da una fase climatica a un'altra) eseguita applicando il test di Bai e Perron (2003) alle temperature medie annue (in alto) e le precipitazioni totali annue (in basso) per la stazione di Verona Villafranca. Per le temperature fra 1998 e 2005 si registra una discontinuità altamente significativa (al 99% - linea rossa in basso) e l'anno più probabile della discontinuità è il 2001 (linea tratteggiata verticale) con medie annue che salgono da 13.0 (media del periodo 1951-2000 - linea blu bassa) a 14.3°C (media del periodo 2001-2020 - linea blu alta). Al contrario le precipitazioni risultano stazionarie con valore medio annuo (linea verde) di 789 mm.

Principali fattori che determinano il clima dell'area DOC del Garda.

Tabella 2 - Principali fattori che determinano il clima dell'area DOC del Garda.

A) **LOCALIZZAZIONE ALLE MEDIE LATITUDINI** cui si associano:

1. le peculiari masse d'aria proprie di regioni sorgenti caratteristiche (Atlantico, Mediterraneo, entroterra eurasiatico, area artica, area subtropicale)
2. le strutture circolatorie atmosferiche alle diverse scale (grandi correnti occidentali, anticicloni, saccature, ecc.) responsabili dell'apporto delle masse d'aria di cui al punto 1 verso l'areale in esame.

B) **APPARTENENZA ALLA REGIONE PADANO-ALPINA** (grande catino delimitato dalle catene alpina ed appenninica e con un'apertura principale verso est)

C) **STRUTTURA DEL RILIEVO** (giacitura, pendenza, esposizione) con caratteristici effetti topoclimatici su:

1. radiazione solare: l'orizzonte orografico influenza in modo rilevante sia la quantità di radiazione che giunge su ogni singolo punto sia la qualità della radiazione stessa, influenzando il rapporto fra radiazione solare diretta e diffusa)
2. temperatura: le aree di fondovalle e di compluvio manifestano l'accumulo notturno di aria fredda (in gergo lago freddo) da cui possono derivare nebbie, gelate e brinate; le pendici a mezza costa sono invece caratterizzate da maggiore mitezza (in gergo thermal belt).
3. umidità relativa: ad esempio le aree di fondovalle che si caratterizzano per valori più elevati rispetto alle pendici montuose
4. precipitazioni svariati sono i fenomeni di intensificazione o "ombreggiamento" orografico dovuti ad effetti di incanalamento, effetti barriera (stau e foehn) e meccanismi d'instabilità orografica con conseguente attività temporalesca;
5. vento: la velocità e la direzione del vento subisce effetti rilevanti legati all'orografia (incanalamenti con aumento delle velocità e modifiche nella direzione, in zone orograficamente complesse come quella in esame si generano caratteristici circuiti di brezza da monte - valle che interferiscono con i circuiti delle brezze di lago

COPERTURA DEL SUOLO

ad esempio un suolo nudo rispetto a uno coperto da vegetazione si scalda molto di più durante il giorno e si raffredda più velocemente di notte.

VICINANZA DI GRANDI MASSE IDRICHE (LAGO DI GARDA, ALTO ADRIATICO)

da cui derivano effetti caratteristici quali:

1. cessione di umidità all'atmosfera che è un fattore essenziale per la genesi delle precipitazioni
2. mitigazione delle temperature (gli estremi si smorzano, per cui le aree litoranee rispetto a quelle interne presentano temperature medie più elevate in inverno e più basse in estate)
3. venti (brezze di lago e di mare-terra).

Da notare che l'Alto Adriatico è un bacino interno relativamente freddo rispetto ad esempio al Mar Tirreno, per cui l'effetto mitigante sul clima risulta attenuato.

Cruciali sono gli effetti sul clima legati alla vicinanza di regioni sorgenti di masse d'aria con caratteristiche peculiari ed in particolare:

- il Mediterraneo, fonte di masse d'aria umida e mite in tutte le stagioni;
- l'Oceano Atlantico, fonte di masse d'aria umida e relativamente mite (aria polare marittima) che tuttavia risulta sempre più fredda rispetto a quella mediterranea; ciò si rivela cruciale per la formazione di perturbazioni, in forma di sistemi frontali e vortici, particolarmente frequenti nel periodo che va dall'autunno alla primavera; inoltre nel periodo che va da marzo a novembre l'aria atlantica che irrompe sull'area dopo aver attraversato le Alpi è l'elemento d'innescò di una vivace attività temporalesca;
- la massa continentale eurasiatica, sorgente di masse d'aria polare continentale particolarmente fredda ed asciutta in inverno ed il cui ingresso in Italia attraverso la "porta di Trieste" dà luogo al fenomeno della bora;
- la zona artica che in tutte le stagioni è fonte di masse d'aria fredda;
- la fascia subtropicale, fonte di masse d'aria torrida e che tende a umidificarsi passando sul Mediterraneo.

Le sopra elencate masse d'aria giungono ad influenzare sensibilmente il clima dell'area di Garda in virtù delle strutture circolatorie atmosferiche che ne determinano gli spostamenti e fra le quali ricordiamo come più importanti:

- gli anticiclone dinamici (si rammentano qui l'anticiclone delle Azzorre, il cui stabile ingresso sul Mediterraneo segna l'affermarsi di condizioni estive, ed i promontori anticiclonici africani, responsabili della maggior parte delle ondate di caldo che interessano l'area italiana);
- gli anticiclone termici ed in particolare l'anticiclone russo - siberiano, il cui espandersi verso il Mediterraneo nel periodo invernale coincide con le grandi irruzioni di gelida aria polare continentale (monsone invernale europeo);
- le saccature atlantiche, depressioni a forma di V il cui transito è più frequente nei mesi autunnali, invernali e primaverili. La disposizione di tali strutture (orientamento dell'asse, estensione verso sud, ecc.) determina le aree e i versanti più esposti ai fenomeni;
- le depressioni mobili del Mediterraneo, innescate dall'irruzione di masse d'aria fredda da aree esterne al bacino. Fra queste ricordiamo, per il contributo al quadro precipitativo dell'area in esame, le depressioni del Golfo di Genova innescate in prevalenza dal transito di saccature atlantiche e la cui traiettoria le porta nella maggioranza dei casi a transitare sulla Valpadana con traiettoria verso est-sudest, interessando in modo diretto l'area in esame.

In tale contesto dinamico gioca un ruolo determinante la catena alpina che agisce sulla circolazione atmosferica alterandola profondamente.

¹ Il Golfo di Genova è la principale area ciclogenetica del Mediterraneo totalizzando a livello annuo il 20% circa del totale di ciclogenese dell'intero bacino (Cantù, 1977).

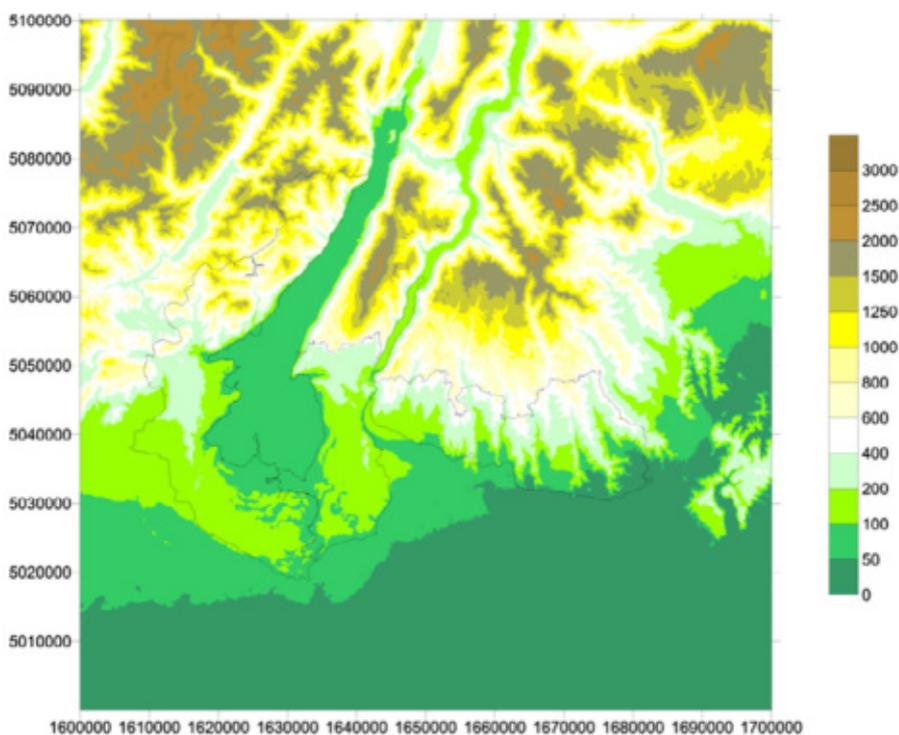


Figura 2 - Modello digitale del terreno (DTM) utilizzato per l'analisi agroclimatica. Il DTM è composto di celle elementari di 200 x 200 m e le altitudini sono espresse in metri.

4. VARIABILITA' TEMPORALE

La variabilità del clima influenza in modo rilevante le produzioni agricole e la vocazionalità dei territori (Mariani, 2006). L'area in esame ha manifestato a partire dagli anni '80 del XX secolo un incremento delle temperature la cui causa più immediata è un cambiamento di fase nella grande circolazione atlantica (Mariani, 2008). Per indagare più a fondo il fenomeno si è effettuata l'analisi statistica dei dati della stazione sinottica di Verona Villafranca, illustrata nei due diagrammi in figura 1. Si noti che anzitutto che le temperature medie annue mostrano uno "scalino" (in gergo change point) altamente significativo e che con il 99% di confidenza ricade fra il 1998 ed il 2005 (anno più probabile: 2001) e con temperature medie annue prima e dopo lo "scalino" che risultano rispettivamente di 13.0 e 14.3°C, un aumento sensibile e denso di ripercussioni sulla vite. Le precipitazioni risultano invece stazionarie con un valore medio annuo di 807 mm. Tale andamento è alla base della decisione di adottare in sede di analisi statistica il ventennio 2001-2020, che l'analisi effettuata ci indica come stazionario a livello termico e pluviometrico.

5. I CARATTERI GENERALI DEL CLIMA DELL'AREA

5.1 Caratteri termopluviometrici

Il clima dell'area DOC Garda si caratterizza per la presenza di estati calde ma non afose e di inverni relativamente freddi, mentre le precipitazioni si distribuiscono lungo l'anno in modo abbastanza omogeneo.

L'analisi delle temperature medie mensili mostra una media annua di 12.5 / 14°C, con temperature medie estive di 22 / 24°C e medie invernali di 6 / 8°C; il mese mediamente più freddo è gennaio, con una media delle minime intorno a -1°C e una media delle medie di 2 / 5°C. Il mese più caldo è invece luglio con medie comprese fra 23 / 25°C.

Il superamento in salita della soglia di 10°C nelle temperature medie ha mediamente luogo nella terza decade di marzo e quello in discesa fra la prima e la seconda decade di novembre, per cui la stagione di crescita della vite ha durata media di 220 - 235 giorni. La temperatura media di ottobre (fra 13.5 e 15.5°C) è abbondantemente al di sopra del limite di 10°C che può essere considerato il limite europeo per la viticoltura commerciale (Lamb, 1966).

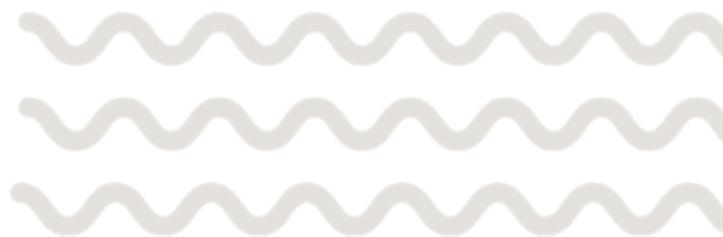
Le precipitazioni medie annue sono comprese fra 800 e 950 mm, con un regime pluviometrico a due massimi (il principale in autunno ed il secondario in primavera) e due minimi (il principale in inverno ed il secondario in estate).

La zona DOC in esame è un'area interna soggetta ad un limitato influsso climatico del Mediterraneo, come attesta il minimo pluviometrico secondario nel mese di luglio. L'elevata piovosità estiva fa ritenere tuttavia improprio parlare di mediterraneità per l'area in esame e consente tutt'al più parlare di "mediterraneità smorzata".

5.2 Classificazione mesoclimatica di sintesi

Una classificazione di sintesi è utile per l'inquadramento di massima dell'areale viticolo Garda in termini di mesoclima. In questa sede è stata utilizzata la classificazione di Koeppen modificata da Pinna per l'area italiana (Mennella, 1972), secondo la quale l'area presenta un clima di tipo temperato subcontinentale, che si qualifica per:

- temperature medie annue comprese fra 10 e 14.4°C;
- media del mese più freddo fra -1 e 3.9°C;
- da 1 a 3 mesi con medie termiche superiori a 20°C;
- escursione termica annua (differenza fra temperatura media del mese più freddo e di quello più caldo) di oltre 19°.



Scopo di questo paragrafo è fornire un inquadramento generale sul clima dell'area della Garda, rinviando ai paragrafi successivi per gli approfondimenti sulle singole variabili climatiche.

6. LA TEMPERATURA DELL'ARIA E L'ANALISI DELLE RISORSE TERMICHE

La temperatura dell'aria nel vigneto è frutto di tre principali categorie di fenomeni:

- il bilancio energetico della chioma e del terreno (fenomeno a microscala)
- apporti di masse d'aria calda o fredda da aree vicine - brezze di monte/ valle, brezze di lago (fenomeno a scala locale)
- apporti di masse d'aria calda o fredda dalle "regioni sorgenti" di cui al capitolo 3 (fenomeno a macroscala).

Nel presente lavoro l'analisi del campo termico si è fondata su un algoritmo di spazializzazione che utilizza come variabili correlate alla temperatura dell'aria l'esposizione e la quota, ricavate da un modello digitale del terreno (figura 2).

In pratica con riferimento ad una generica cella xy a temperatura incognita si è provveduto ad omogeneizzare in termini di quota ed esposizione tutti i valori noti.

L'omogeneizzazione è stata eseguita applicando opportuni gradienti altitudinali ed esposizionali ottenuti per regressione lineare temperatura - quota e temperatura - esposizione. Le equazioni di regressione lineare delle temperature medie rispetto alla quota sono riportate in tabella 3. Si noti l'ottima correlazione esistente fra quota e temperatura media mensile, il che da un lato indica la qualità accettabile dei dati utilizzati e dall'altro garantisce la possibilità di ottenere una spazializzazione realistica del dato.

Si osservi inoltre che il gradiente medio espresso in °C/100 m è più basso nei mesi invernali per effetto dello smorzamento dovuto all'accumulo d'aria fredda nei fondivalle.

Tabella 3 - Risultato delle regressioni lineari temperatura - quota per il Veneto. Elaborazioni riferite al trentennio 1976-2005.

Il gradiente esposizionale utilizzato è invece riportato in tabella 6.

Mese	temperatura massima	R2	temperatura minima	R2
Gen	$y = -0.0027x + 6.4436$	0.6370	$y = -0.0039x - 0.8909$	0.7739
Feb	$y = -0.0033x + 8.4607$	0.8101	$y = -0.0044x + 0.6068$	0.8494
Mar	$y = -0.0051x + 13.291$	0.9435	$y = -0.0056x + 4.7307$	0.916
Apr	$y = -0.0060x + 17.085$	0.9536	$y = -0.0062x + 8.1946$	0.9487
Mag	$y = -0.0066x + 22.6$	0.9484	$y = -0.0065x + 13.294$	0.9509
Giu	$y = -0.0067x + 26.301$	0.9514	$y = -0.0063x + 16.761$	0.9473
Lug	$y = -0.0062x + 28.565$	0.9364	$y = -0.0062x + 18.956$	0.9445
Ago	$y = -0.0059x + 28.15$	0.9174	$y = -0.0059x + 18.592$	0.9251
Set	$y = -0.0055x + 23.758$	0.9262	$y = -0.0053x + 14.399$	0.9265
Ott	$y = -0.0045x + 18.319$	0.9172	$y = -0.0047x + 9.8296$	0.9046
Nov	$y = -0.0031x + 11.696$	0.7770	$y = -0.0042x + 3.9576$	0.8412
Dic	$y = -0.0028x + 7.3471$	0.6690	$y = -0.0039x + 0.1964$	0.7843

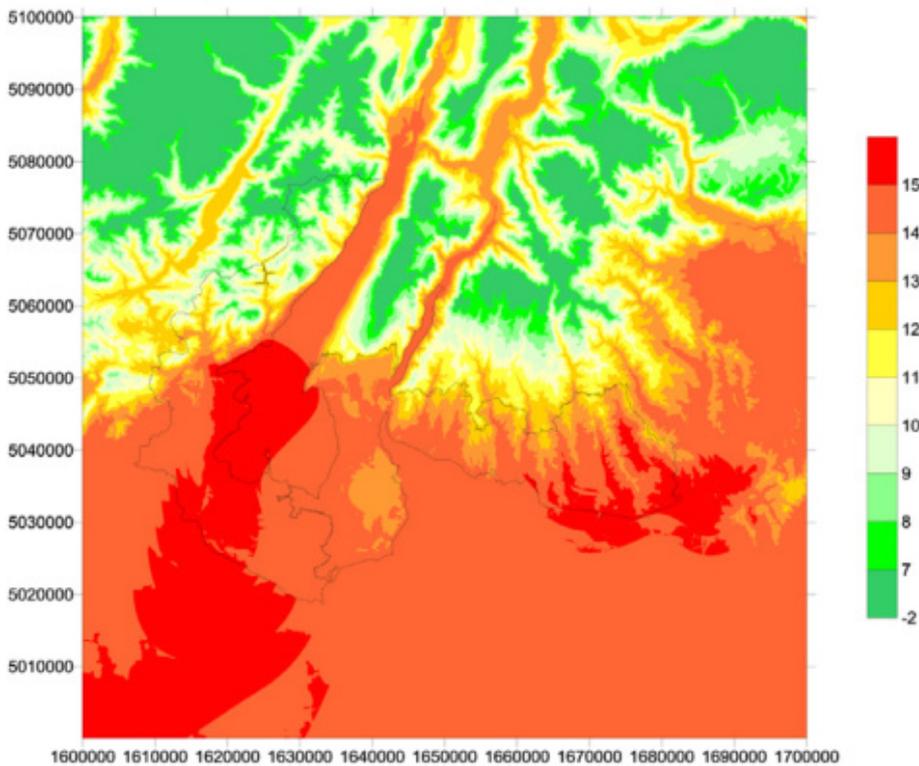


Figura 3 - temperature medie annue (media 2001-2020)

Tabella 4 - Gradienti termici medi mensili ricavati per il Veneto nel presente lavoro (°C)

	gen	feb	mar	apr	Mag	Giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
Tx	-0.27	-0.33	-0.51	-0.60	-0.66	-0.67	-0.62	-0.59	-0.55	-0.45	-0.31	-0.28	-0.49
Tn	-0.39	-0.44	-0.56	-0.62	-0.65	-0.63	-0.62	-0.59	-0.53	-0.47	-0.42	-0.39	-0.53
Td	-0.33	-0.39	-0.54	-0.61	-0.66	-0.65	-0.62	-0.59	-0.54	-0.46	-0.37	-0.34	-0.51

Tabella 5 - Gradiente esposizionale. Ogni esposizione viene accreditata di un certo guadagno o di una certa perdita termica rispetto alle esposizioni Est o Ovest, che non sono considerate soggette a perdite o guadagni (Mariani, 2002).

	N	NNE-NNW	NE-NW	ENE-WNW	E-W	ESE-WSW	SE-SW	S
Tx	-1.2	-1	-0.8	-0.5	0	0.5	0.8	1.2
Tn	-1	-0.8	-0.6	-0.4	0	0.4	0.6	1
Td	-1.1	-0.9	-0.7	-0.45	0	0.45	0.7	1.1

I gradienti riportati nelle tabelle 4 e 5 sono stati pertanto adottati per l'analisi del campo termico che è alla base della quantificazione delle risorse e limitazioni termiche per l'area di studio. I risultati dell'analisi spaziale delle temperature annue e mensili per le principali località dell'area DOC di Garda sono riassunti nelle tabelle 7a, 7b e 7c. Le carte di sintesi delle temperature medie delle minime e delle massime sono invece riportate in figura 3. Si osservi la variabilità dei valori termici frutto della disomogeneità territoriale indotta principalmente dall'orografia. Figura 3 - Temperature medie annue per il periodo 2001-2020.

Tabella 6a - Temperature medie delle massime mensili e annue per le stazioni meteorologiche dell'area doc Garda (periodo di riferimento: 2001-2020).

Stazione	altezza	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Calvagese	210	8.0	10.2	15.2	19.7	24.5	29.5	31.7	31.3	26.3	20.1	13.4	8.8	19.9
Lonato	150	7.3	10.2	15.6	20.6	25.6	30.6	32.6	32.1	26.7	20.0	13.1	7.9	20.2
Puegnago	142	9.2	11.0	15.6	20.0	24.4	29.2	31.6	31.1	26.0	20.2	14.2	9.9	20.2
Sirmione	59	8.9	11.2	16.0	20.5	25.3	30.2	32.4	31.8	26.9	20.9	14.5	9.8	20.7
Tremosine	414	7.1	8.4	12.4	16.6	21.0	25.7	28.0	27.6	22.7	17.2	11.8	8.1	17.2
Valeggio_sul_Mincio	120	7.5	10.1	15.0	19.6	24.3	29.0	31.1	30.6	25.6	19.5	13.1	8.2	19.5
Dolcè	105	8.1	10.5	15.2	19.6	24.2	28.9	31.2	30.7	25.5	19.6	13.4	8.5	19.6
Grezzana	156	7.8	10.1	14.7	19.2	23.8	28.6	30.8	30.3	25.2	19.3	13.3	8.6	19.3
Marano	296	7.3	9.4	13.8	18.2	22.8	27.5	29.7	29.2	24.2	18.5	12.5	8.1	18.4
S.Giovanni Ilarione	320	7.8	9.6	13.9	18.4	22.9	27.5	29.9	29.6	24.3	18.6	12.9	8.7	18.7
S.Pietro in Cariano	130	7.9	10.2	15.0	19.4	24.1	28.8	31.0	30.5	25.4	19.5	13.4	8.6	19.5
San Giovanni Ilarione 2	269	8.2	10.1	14.5	19.2	23.8	28.4	30.8	30.4	25.0	19.2	13.4	9.2	19.4

Tabella 6b - Temperature medie delle minime mensili e annue per le principali località dell'area doc Garda (periodo di riferimento: 1992-2007).

Stazione	altezza	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Calvagese	210	-0.5	0.9	4.7	8.6	12.5	16.7	18.7	18.5	14.6	10.1	5.3	0.4	9.2
Lonato	150	0.8	2.1	5.7	9.5	13.4	17.9	19.9	19.6	15.7	11.4	6.6	1.7	10.4
Puegnago	142	0.9	2.1	5.5	9.5	13.7	18.0	20.0	19.6	15.9	11.7	6.7	2.0	10.5
Sirmione	59	-1.2	-0.1	3.5	7.8	12.2	16.6	18.6	18.2	13.7	9.1	4.8	-0.3	8.6
Tremosine	414	-2.0	-1.2	2.0	5.7	9.4	13.5	15.3	14.9	11.4	7.8	3.2	-1.1	6.6
Valeggio_sul_Mincio	120	-0.1	1.1	4.6	8.5	12.6	16.7	18.6	18.4	14.2	10.1	5.7	0.6	9.2
Dolcè	105	0.0	1.2	4.6	8.5	12.4	16.6	18.5	18.1	14.2	10.0	5.5	0.9	9.2
Grezzana	156	0.0	1.3	4.6	8.4	12.3	16.6	18.5	18.2	14.2	10.0	5.5	0.8	9.2
Marano	296	-0.2	1.0	4.2	8.0	11.9	16.0	17.8	17.5	13.6	9.5	5.2	0.6	8.8
S.Giovanni Ilarione	320	0.7	1.8	5.0	8.7	12.1	16.2	18.0	17.9	13.9	10.0	5.8	1.5	9.3
S.Pietro in Cariano	130	-0.6	0.8	4.2	8.2	12.1	16.3	18.2	17.8	13.7	9.5	5.1	0.3	8.8
San Giovanni Ilarione 2	269	1.8	3.0	6.3	10.0	13.5	17.7	19.7	19.5	15.5	11.4	7.1	2.8	10.7

Tabella 6c - Temperature medie delle medie mensili e annue per le principali località dell'area doc Garda (periodo di riferimento: 1992-2007).

Stazione	altezza	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Calvagese	210	3.7	5.6	10.0	14.2	18.5	23.1	25.2	24.9	20.4	15.1	9.4	4.6	14.5
Lonato	150	4.0	6.2	10.7	15.0	19.5	24.3	26.3	25.8	21.2	15.7	9.9	4.8	15.3
Puegnago	142	5.0	6.5	10.5	14.7	19.0	23.6	25.8	25.4	20.9	15.9	10.4	5.9	15.3
Sirmione	59	3.9	5.6	9.7	14.1	18.8	23.4	25.5	25.0	20.3	15.0	9.6	4.8	14.6
Tremosine	414	2.6	3.6	7.2	11.1	15.2	19.6	21.6	21.2	17.1	12.5	7.5	3.5	11.9
Valeggio_sul_Mincio	120	3.7	5.6	9.8	14.1	18.4	22.8	24.8	24.5	19.9	14.8	9.4	4.4	14.4
Dolcè	105	4.0	5.8	9.9	14.1	18.3	22.8	24.8	24.4	19.8	14.8	9.4	4.7	14.4
Grezzana	156	3.9	5.7	9.6	13.8	18.1	22.6	24.6	24.2	19.7	14.7	9.4	4.7	14.2
Marano	296	3.6	5.2	9.0	13.1	17.3	21.8	23.8	23.3	18.9	14.0	8.9	4.3	13.6
S.Giovanni Ilarione	320	4.2	5.7	9.5	13.5	17.5	21.8	24.0	23.7	19.1	14.3	9.3	5.1	14.0
S.Pietro in Cariano	130	3.6	5.5	9.6	13.8	18.1	22.6	24.6	24.2	19.6	14.5	9.2	4.4	14.1
San Giovanni Ilarione 2	269	5.0	6.5	10.4	14.6	18.7	23.0	25.2	25.0	20.2	15.3	10.3	6.0	15.0

7. LA RADIAZIONE SOLARE

La radiazione solare è necessaria per il processo fotosintetico e dunque si rivela essenziale per l'attività vegetativa della vite e per l'accumulo di zuccheri nel grappolo. L'analisi della radiazione utile per la fotosintesi è stata condotta con un apposito modello in grado di ricavare la radiazione fotosinteticamente attiva potenziale (PPAR) e cioè la radiazione che si renderebbe disponibile in assenza di copertura nuvolosa (cielo sereno). Tale radiazione teorica consente di valutare la vocazione del territorio in esame nell'ipotesi che la copertura nuvolosa si ripartisca in modo omogeneo sullo stesso, ipotesi che si rivela accettabile nel caso di un'area di estensione relativamente ridotta come quella della DOC Garda.

L'algoritmo utilizzato per la stima della PPAR è quello del software SAGA Gis (Olaya, 2004) e prevede anzitutto il calcolo della posizione del sole (elevazione ed azimut) attraverso l'impiego di formule astronomiche classiche (Fracastoro, 1985); a ciò segue l'ottenimento dal modello digitale del terreno (figura 2) dell'orizzonte reale imposto dal profilo dei rilievi. Si eseguono poi (i) il calcolo delle ore di sole potenziali attraverso il calcolo dell'intersezione fra traiettoria del sole e l'orizzonte reale, (ii) il calcolo della radiazione solare globale giornaliera (diretta e diffusa) su una superficie comunque orientata ed infine (iii) la trasformazione della radiazione solare globale in PPAR utilizzando un coefficiente moltiplicatore pari a 0.5 (Karalis, 1989).

I dati riferiti all'intero anno consentono una valutazione quantitativa delle potenzialità climatiche in termini di energia solare disponibile per il processo fotosintetico. I valori di PPAR sono riportati nella carta (figura 4) che ne illustra la distribuzione spaziale per il territorio nel suo complesso ed in tabella 11 che riporta i valori stimati per i centri comunali.

8. LE PRECIPITAZIONI

Il regime delle precipitazioni mensili dell'area (figura 5) mostra un massimo principale autunnale ed uno secondario primaverile, oltre ad un minimo principale invernale ed uno secondario estivo. Il mese mediamente meno piovoso è febbraio ed il più piovoso novembre. Dal punto di vista climatico il minimo precipitativo invernale è interpretabile come un segnale centro-europeo legato all'attenuarsi della circolazione atlantica tipico dell'inverno mentre il minimo precipitativo estivo è un segnale di mediterraneità.

Dal punto di vista circolatorio si osserva che i periodi a piovosità abbondante e prolungata tipici della fase autunnale e primaverile sono da attribuire al flusso perturbato meridionale associato alle depressioni che in tale periodo influenzano l'area ed alle quali la zona risulta particolarmente esposta.

Il periodo da luglio a settembre presenta una piovosità relativamente elevata e riconducibile soprattutto a fenomeni temporaleschi che danno apporti idrici alquanto irregolari nello spazio e nel tempo e che sono per di più soggetti a significativi fenomeni di ruscellamento, il che rende l'acqua precipitata solo parzialmente fruibile da parte della vite.

All'innesco dell'attività temporalesca concorrono la sottostante pianura ed il lago di Garda che sono importanti sorgenti di calore ed umidità per i bassi strati.

La figura 6 mostra la distribuzione delle precipitazioni medie annue nel territorio in esame per il periodo 1951-2007. Tale carta è stata ottenuta spazializzando i valori totali di precipitazione media annua delle stazioni dell'area con un algoritmo di Kriging ordinario. La carta evidenzia che l'area della Garda presenta un caratteristico gradiente latitudinale con un incremento graduale delle precipitazioni da sudest verso nordovest. Più in particolare, da un minimo di poco più di 800 dell'estremo margine sudorientale del territorio si giunge ad un massimo di meno di 950 mm al limite settentrionale. Il gradiente sudest-nordovest è frutto della lenta risalita orografica che ha luogo in presenza di situazioni circolatorie di tipo sciroccale (precipitazioni da fronte caldo in cui l'orografia accentua la naturale tendenza delle masse d'aria mediterranea a salire scorrendo su masse d'aria più fredde pre-esistenti). Una concausa di tale gradiente è l'intensificazione dell'attività temporalesca estiva stimolata dall'orografia.

Le precipitazioni medie mensili (mm) e il numero medio di giorni piovosi mensili per le principali località della Garda sono riportati nelle tabelle 8, 9, 10 e 11 mentre la tabella 12 riporta il 10°, 50° e 90° percentile del numero di giorni piovosi per la stazione di Castelnuovo del Garda.

Figura 5 - Regime pluviometrico medio mensile per la stazione di Castelnuovo del Garda (1992-2007). Per ogni mese vengono presentati il valore medio (blu), il massimo assoluto (giallo) ed il minimo assoluto (rosso). Le precipitazioni in ordinata sono espresse in millimetri.

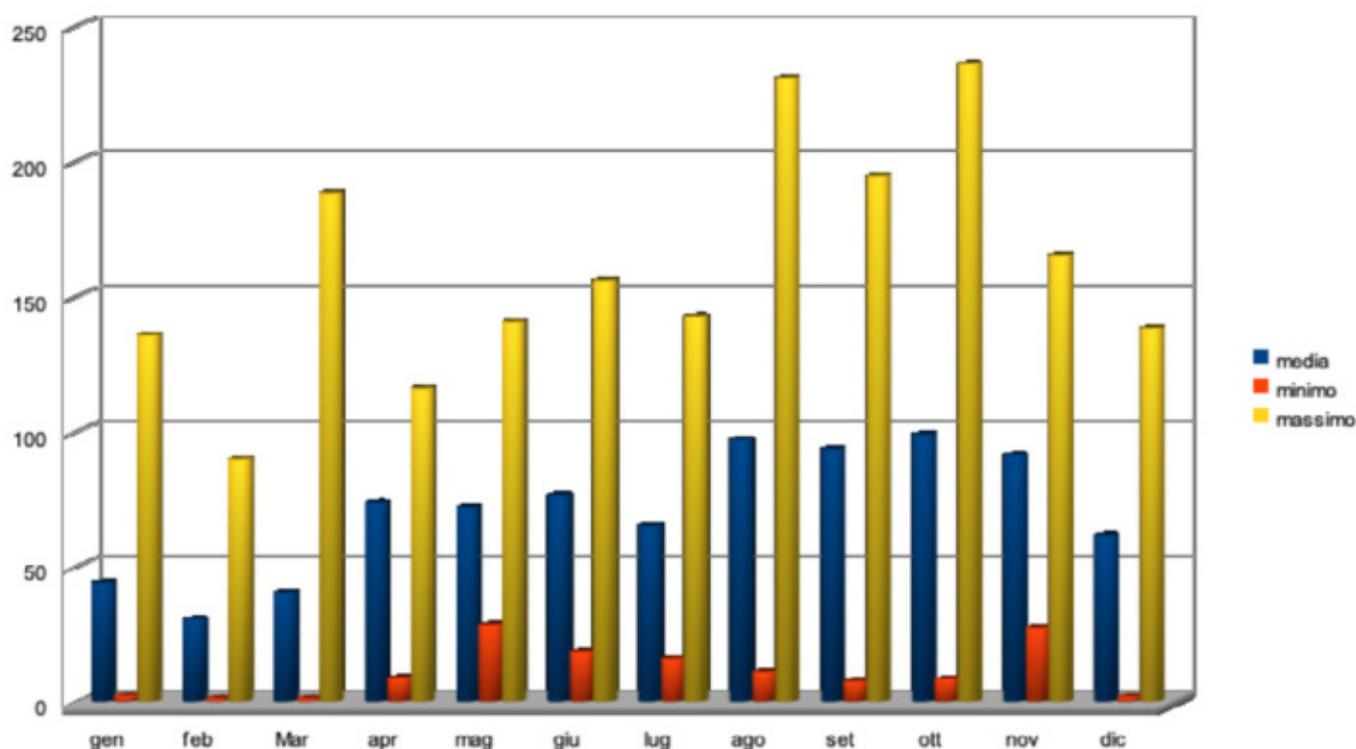


Tabella 8 - Precipitazioni medie mensili ed annue in millimetri del ventennio 2001-2020 per le principali località dell'area DOC Garda. Est% indica la percentuale della precipitazione annua che cade nel semestre caldo - dal 1° aprile a 30 settembre

Stazione	altezza	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno	Est%
Calvagese	210	58	81	73	84	112	76	74	87	74	95	127	78	1019	50
Lonato	150	59	68	66	77	95	62	72	85	95	83	106	70	936	52
Puegnago	142	48	71	73	95	120	87	84	114	100	119	154	86	1150	52
Sirmione	59	47	60	60	79	99	74	69	81	82	96	113	63	922	52
Tremosine	414	61	73	76	97	118	96	123	114	102	124	144	88	1216	53
Valeggio_sul_Mincio	120	50	65	63	81	99	72	71	78	83	90	111	64	926	52
Dolcè	105	53	64	67	83	108	82	87	97	88	103	121	75	1027	53
Grezzana	156	49	63	65	77	104	78	80	93	79	87	111	65	949	54
Marano	296	50	62	66	83	108	77	85	95	84	96	118	67	992	54
S.Giovanni Ilarione	320	60	83	79	98	125	80	78	92	91	104	133	82	1104	51
S.Pietro in Cariano	130	47	59	61	79	99	69	75	86	76	88	113	63	915	53
San Giovanni Ilarione 2	269	54	75	71	90	117	74	77	88	84	98	125	72	1023	52

Tabella 9 - Precipitazioni minime assolute mensili in millimetri del ventennio 2001-2020 per le principali località dell'area DOC Garda.

Stazione	altezza	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Calvagese	210	6	0	7	14	29	19	7	6	5	17	10	1
Lonato	150	5	0	4	8	0	1	15	2	15	6	6	1
Puegnago	142	3	0	12	10	26	21	5	18	25	17	10	0
Sirmione	59	6	0	1	4	12	8	6	5	17	16	8	1
Tremosine	414	11	2	7	12	37	38	6	39	22	25	10	0
Valeggio_sul_Mincio	120	7	1	0	10	18	19	10	2	16	23	10	1
Dolcè	105	10	0	8	11	24	6	12	25	22	19	14	0
Grezzana	156	10	0	4	11	17	14	29	26	21	22	19	1
Marano	296	9	0	6	11	20	9	25	31	19	19	17	0
S.Giovanni Ilarione	320	6	1	3	11	9	15	16	11	31	17	24	1
S.Pietro in Cariano	130	8	0	4	10	18	14	22	25	19	18	17	0
San Giovanni Ilarione 2	269	1	2	3	7	7	18	13	10	33	12	25	1

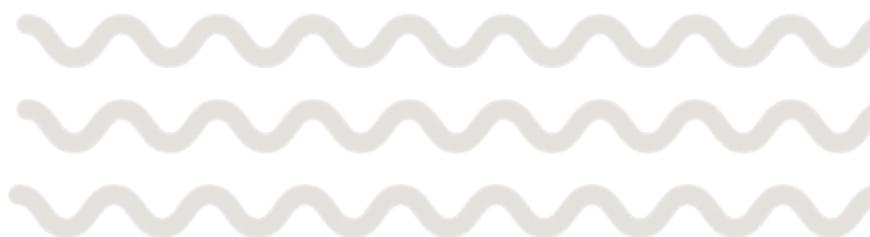


Tabella 10 - Precipitazioni massime assolute mensili in millimetri del ventennio 2001-2020 per le principali località dell'area DOC Garda.

Stazione	altezza	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Calvagese	210	224	185	247	178	218	166	163	224	184	197	267	243
Lonato	150	207	167	265	175	251	173	229	230	207	209	238	194
Puegnago	142	184	166	242	199	321	175	188	286	176	332	353	249
Sirmione	59	145	142	262	160	260	126	209	188	177	247	232	187
Tremosine	414	247	209	226	190	267	165	222	246	237	215	340	192
Valeggio_sul_Mincio	120	182	180	199	135	274	193	257	188	162	180	222	159
Dolcè	105	197	169	195	143	242	141	201	227	181	183	258	170
Grezzana	156	203	182	192	142	250	140	214	275	145	153	253	162
Marano	296	197	174	221	174	245	139	205	237	186	158	249	163
S.Giovanni Ilarione	320	211	204	275	210	313	154	211	262	183	227	281	167
S.Pietro in Cariano	130	188	169	193	131	243	135	200	247	141	162	237	159
San Giovanni Ilarione 2	269	199	206	243	180	307	170	173	215	164	172	293	166

Tabella 11 – Numero medio di giorni piovosi mensili ed annui del ventennio 2001-2020 per le principali località dell'area DOC Garda. Est% indica la percentuale dei giorni annui con precipitazione che si verifica nel semestre caldo - dal 1° aprile a 30 settembre

Stazione	alt	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno	%Est
Calvagese	210	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	72	51
Lonato	150	7	6	6	5	7	7	7	7	7	7	7	7	79	51
Puegnago	142	7	7	7	6	7	8	8	8	8	7	8	7	86	51
Sirmione	59	9	8	8	8	10	9	10	10	10	9	10	8	109	52
Tremosine	414	10	8	9	10	12	10	12	11	12	11	11	11	128	53
Valeggio_sul_Mincio	120	7	6	8	7	10	8	10	10	10	9	9	8	103	54
Dolcè	105	6	6	7	6	10	8	10	10	10	8	9	7	95	55
Grezzana	156	7	6	7	6	9	8	10	9	9	7	9	7	94	54
Marano	296	6	7	7	6	9	7	8	8	8	7	8	7	88	53
S.Giovanni Ilarione	320	8	7	8	7	8	8	9	8	9	7	8	7	94	52
S.Pietro in Cariano	130	9	9	9	9	10	10	11	10	11	9	11	9	117	52
San Giovanni Ilarione 2	269	8	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	7	89	50

Tabella 12 – Decimo (P10), cinquantesimo (P50) e novantesimo (P90) percentile delle precipitazioni mensili per la stazione di Castelnuovo del Garda (120 msm), ottenuti utilizzando i dati del periodo 1992-2007 (esempio di interpretazione: il 90° percentile di 13 giorni di pioggia a ottobre indica che nel 90% degli anni si assiste ad un numero di giorni di pioggia minore di 13; il 10° percentile di 49 mm di precipitazione ad aprile indica che nel 10% degli anni si osserva una quantità di pioggia minore di 49 mm).

	Precipitazioni (mm)			Giorni di pioggia		
	P50	P10	P90	P50	P10	P90
Gennaio	29	10	104	5.5	0.3	10.0
Febbraio	13	3	75	2.0	1.0	8.4
Marzo	28	3	75	4.0	1.0	7.0
Aprile	69	49	109	9.5	8.0	12.0
Maggio	75	32	112	8.0	5.0	11.0
Giugno	71	38	132	7.3	5.0	10.7
Luglio	60	23	113	6.0	4.3	7.0
Agosto	91	29	157	6.0	3.3	10.1
Settembre	94	38	142	7.3	4.6	9.7
Ottobre	96	20	179	9.0	4.3	13.0
Novembre	95	38	134	7.5	5.0	15.1
Dicembre	57	9	133	7.5	1.9	12.0

9. I VENTI E LE NEBBIE

Le circolazioni di brezza, tipiche dei laghi con estensione maggiore ai 10-50 km², sono particolarmente intense poiché il lago di Garda circondato dai rilievi e dunque le brezze di lago si raccordano con i circuiti di brezza di monte e di valle. Nella zona del Garda, la brezza notturna che scende dalla valle è detta Sover ("vento di sopra") mentre il vento che risale nelle ore diurne

è detto Aura. Per effetto delle brezze il vento in prossimità dei laghi è più intenso che nelle aree circostanti di circa 2-2,5 volte di giorno e di 1-1,5 volte di notte (Giuliaci, 1983).

I giorni con nebbia a Riva del Garda sono solo tre all'anno (Mennella, ..) mentre a Salò ammontano a una quarantina e ricadono più frequentemente fra novembre e febbraio. Nella zona meridionale del Garda, invece il numero di giorni con nebbia è più elevato e questo è chiaro indice del fenomeno dell'inversione termica che dalla pianura, si estende sino alle zone rivierasche non protette da rilievi morenici elevati. A tale proposito è possibile osservare anzitutto che le colline moreniche nella zona sud-occidentale (zona tra Salò e Desenzano) presentano un'altezza media di circa 200-300 metri e danno luogo ad una discontinuità fra le masse d'aria fredda che ristagnano sulla pianura e l'aria più mite che sovrasta il lago. Nella zona meridionale, invece, i rilievi di chiusura, oltre a essere più distanti dal lago, presentano una quota inferiore (100-200 m), il che favorisce le infiltrazioni di aria fredda dalla pianura.

10. ASPETTI FITOCLIMATICI

Dal punto di vista fitoclimatico la classificazione di Pavari (De Philippis, l'areale del Benaco rientra nella sottozona fredda del Lauretum (limite della coltura dell'olivo), che si caratterizza per una temperatura media annua compresa tra 12 e 17°C, una temperatura media del mese più freddo intorno ai 3°C e valori di temperatura minima assoluta non inferiori a -9 °C. La vite si spinge inoltre nel castanetum

Le caratteristiche climatiche dell'area dei colli morenici gardesani sono evidenziate anche dalla presenza di alcune specie vegetali spontanee peculiari dell'area Mediterranea (Crosato et al., 1988) fra cui troviamo l'Erica arborea (Erica arborea) e l'asparago pungente (Asparagus acutifolium) tipici della macchia mediterranea, l'Orchidea a farfalla (Orchis papilionacea), per la quale i colli morenici rappresentano il limite più settentrionale dell'areale e l'aglio rosa (Allium roseum) pianta meridionale che si è ben adattata al clima dei colli morenici.

11. GLI INDICI BIOCLIMATICI

La tabella 13 sintetizza i valori di alcuni indici bioclimatici viticoli calcolati per alcune stazioni meteorologiche dell'area della Garda.

Tabella 13 - Indici bioclimatici medi del periodo 2001-2020 per le stazioni dell'area doc Garda.

Stazione	alt	gddW	HI	NHH	HHH	ETO	ETM	PAR
Calvagese	210	2194	2693	2686	426	1080	629	2639
Lonato	150	2385	2867	2799	539	1084	640	2561
Puegnago	142	2312	2729	2920	417	1040	608	2496
Sirmione	59	2215	2769	2682	469	1135	658	2754
Tremosine	414	1518	2034	2062	129	977	529	2647
Valeggio sul Mincio	120	2130	2619	2682	358	1054	610	2578
Dolcè	105	2120	2613	2663	361	1061	614	2596
Grezzana	156	2080	2559	2648	330	1040	599	2568
Marano	296	1917	2382	2514	241	995	566	2529
S.Giovanni Ilarione	320	1972	2424	2566	269	994	570	2505
S.Pietro in Cariano	130	2071	2581	2612	346	1064	613	2627
San Giovanni Ilarione 2	269	2215	2616	2841	362	990	579	2411

Legenda: coox e cooy = coordinate Gauss Boaga, gddW = indice di Winkler (°C); HI = indice di Huglin; NHH=ore normali di caldo; HHH=ore di stress da eccesso termico; PAR = Radiazione fotosinteticamente attiva stimata con il metodo di Hargreaves (Allen et al., 1998).

11.1 Indici a base termica

Per l'analisi delle risorse termiche si sono adottati sia l'indice di Winkler (somma termica a base 10°C riferita al periodo dal 1° aprile a 31 ottobre) sia l'indice eliotermico di Huglin HI, ottenuto con l'equazione

$$HI = \sum [k/2 * ((Td-10) + (Tx-10))]$$

ove la sommatoria è riferita al periodo dal 1° aprile a 30 settembre, Td e Tx sono rispettivamente la temperatura media e massima giornaliera mentre k è un coefficiente moltiplicatore legato alla lunghezza del giorno e che per l'area in esame vale 1.04.

Le ore normali di caldo e le ore di stress da caldo sono invece calcolate con il metodo a curve di risposta descritto in Mariani e Failla (2016).

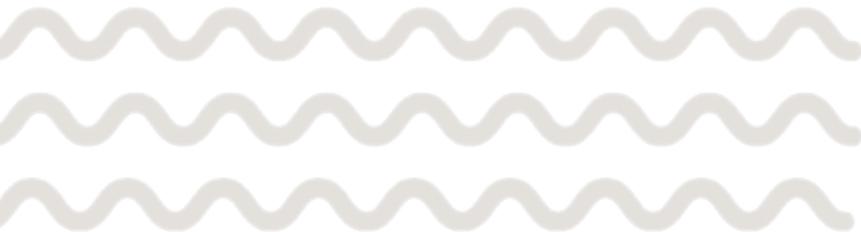


Tabella 12a - Valori medi degli indici di Huglin e di Winkler ricavati per alcune importanti zone viticole italiane ed europee (Huglin, 1986; Egger et al., 1997; Dettori & Filigheddu, 1997; Mariani, dati non pubblicati).

Stazione	stato	Lat	Indice di Winkler	Indice di Huglin
Reims	Fr	49 N	958	1550
Angers	Fr	48 N	1069	1650
Tours	Fr	47 N	1126	1690
Dijon	Fr	47 N	1133	1710
Cognac	Fr	46 N	1282	1780
Toulouse	Fr	44 N	1377	1950
Bordeaux	Fr	45 N	1480	2100
Montpellier	Fr	43 N	1798	2250
Verona (Vr)	It	45 N	1697	2250
Piemonte – DOCG Barolo	It	45 N	1750	2180
Bari (Ba)	It	41 N	2021	2407
Castagneto Carducci (Li)	It	44 N	1747	2444
Chianti Classico senese	It	43 N	1639	2155
Montalcino (Si)	It	43 N	2257	2442
Barcelona	E	41 N	1975	2350
Cadiz	E	36 N	2119	2428
Cordoba	E	38 N	2466	3120
Athènes	Gr	38 N	2329	2950
Kecskemet	H	47 N	1412	2060
Odessa	Ucr.	46 N	1401	1850

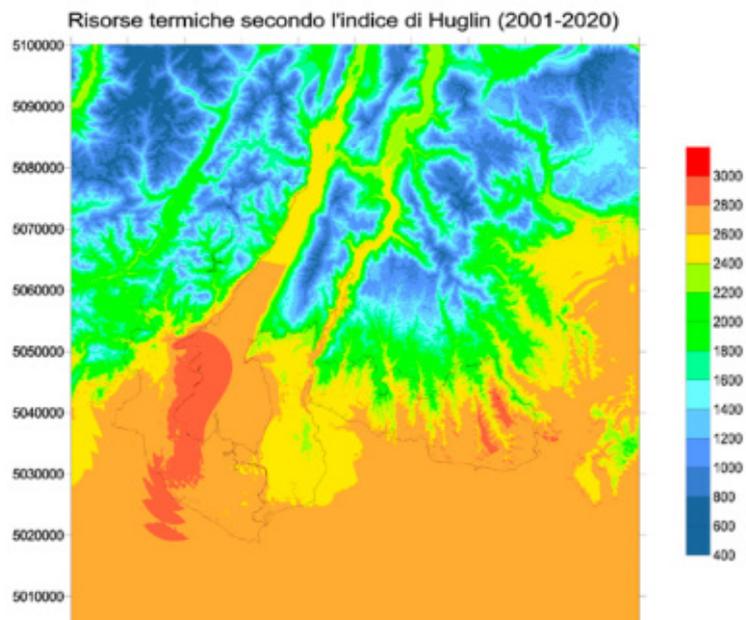


Figura 7 - indice di Winkler per l'area doc del Garda (periodo di riferimento: 2001-2020).

Tabella 12b - valori medi degli indici di Huglin e di Winkler ricavati per alcune importanti zone viticole extraeuropee (Huglin, 1986).

Stazione	stato	Lat	Indice di Winkler	Indice di Huglin
Napa	Usa	38 N	1409	2126
Fresno	Usa	37 N	2323	3166
Santiago	Rch	32 S	1516	2286
Stellenbosch	Za	33 S	1779	2346
Mendoza	Ra	32 S	2019	2600
Mildura	Aus	34 S	2037	2750

Tanto per l'indice di Winkler che per quello di Huglin sono state redatte carte (figure 7 e 8) che ne illustrano la distribuzione spaziale per il territorio nel suo complesso. Per una corretta interpretazione dei dati ottenuti si riportano nelle tabelle 12a e 12b i valori degli indici di Huglin e Winkler caratteristici di alcune aree viticole rinomate a livello italiano e mondiale.

11.2 Le risorse idriche

L'analisi delle risorse idriche è stata condotta applicando un bilancio idrico territoriale a passo mensile (Mariani, 2002) che si fonda sull'equazione di conservazione della massa applicata ad un serbatoio con Riserva facilmente utilizzabile massima (RFU_{max}) per lo strato esplorato dalle radici assunta pari a 75 mm, che corrispondono ad una Riserva totale massima di 100 mm. Rispetto al serbatoio vengono computate le entrate (precipitazione utile, al netto da evaporazione superficiale e ruscellamento) e le uscite (evapotraspirazione ed infiltrazione).

La terminologia adottata in questa sede è illustrata in tabella 13.

Termine	Acronimo	Definizione	Unità di misura	Sinonimi
Riserva massima	R _{max}	Serbatoio massimo sfruttabile dalle piante, compreso fra capacità di campo e punto di appassimento.	mm	AWC, Acqua disponibile massima
Riserva facilmente utilizzabile massima	RFU _{max}	Serbatoio massimo a cui le piante possono attingere senza subire stress.	mm	
Riserva attuale	R _a	Contenuto idrico attuale del terreno al di sopra del punto di appassimento.	mm	Acqua disponibile attuale
Riserva facilmente utilizzabile attuale	RFU _a	Contenuto idrico attuale del terreno a cui le piante possono attingere senza subire stress.	mm	
Evapotraspirazione da coltura di riferimento	ET ₀	Evapotraspirazione di una coltura ideale che copra il suolo in modo tale da intercettare tutta la radiazione solare in arrivo e che non presenti limitazioni idriche e nutrizionali (per una definizione completa si rinvia al quaderno n. 56 della FAO)	mm	
Evapotraspirazione massima delle vite	ET _m	Evapotraspirazione che la vite realizza in assenza di limitazioni idriche e nutrizionali	mm	

Tabella 13 - terminologia adottata in sede di bilancio idrico.

L'evapotraspirazione da coltura di riferimento (ET0) è stata calcolata con l'equazione di Hargreaves nella versione descritta nel quaderno FAO n. 56 (Allen et al, 1998) mentre la precipitazione utile è stata considerata pari all'85% della precipitazione totale.

Il passaggio dai valori ET0 a quelli di evapotraspirazione massima per la vite (ETM) è stato ottenuto applicando i coefficienti colturali riportati in tabella 14.

Tabella 14 - Coefficienti colturali mensili della vite adottati per il bilancio idrico.

gen	feb	mar	apr	Mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
0.2	0.2	0.2	0.48	0.59	0.68	0.68	0.68	0.68	0.59	0.38	0.2

La data di esaurimento della riserva è stata stimata prendendo il primo mese dell'anno in cui la riserva risulta vuota ed applicando l'equazione:

$$\text{primo_dd_vuoto} = \text{lastday}_i - (\text{ris_memo}_i - 1 / \text{etm_media_giornaliera}_i)$$

ove:

lastday_i = ultimo giorno del mese in esame i

etm_media_giornaliera = etm media giornaliera del mese i, ottenuta dividendo l'ETM mensile per il numero di giorni del mese.

ris_memo = riserva residua presente alla fine del mese precedente (mese i-1)

La data d'inizio del ripristino della riserva è stata invece ottenuta prendendo l'ultimo mese nel corso dell'anno (mese i) che presenti riserva non vuota e che sia preceduto da un mese (mese i-1) con riserva vuota. A tale mese viene applicata l'equazione:

$$\text{ultimo_dd_vuoto} = -\text{lastday_mese}_{i-1} + 30 * (\text{etm}_i / \text{pui}_i)$$

ove:

lastday_mese_{i-1} = ultimo giorno del mese i-1

etm_i = evapotraspirazione totale del mese i

pui = precipitazione utile totale del mese i

I dati riassuntivi riportati in tabella 15 e figura 9 sono riferiti ai centri comunali.

Stazione	alt	RRyy	ET0	ETM	ETR	DDstress
Calvagese	210	1019	1080	629	508	37.3
Lonato	150	936	1084	640	480	55.7
Puegnago	142	1150	1040	608	533	20.5
Sirmione	59	922	1135	658	518	40.9
Tremosine	414	1216	977	529	503	6.6
Valeggio sul Mincio	120	926	1054	610	488	36.8
Dolcè	105	1027	1061	614	529	25.0
Grezzana	156	949	1040	599	508	27.9
Marano	296	992	995	566	495	21.9
S. Giovanni Ilarione	320	1104	994	570	499	21.9
S. Pietro in Cariano	130	915	1064	613	501	33.9
San Giovanni Ilarione 2	269	1023	990	579	497	25.2

Legenda: RRyy=precipitazione media annua (mm); ET0=evapotraspirazione da coltura di riferimento (mm); ETM=evapotraspirazione massima della vite (mm); DDstress=giorni in cui la vite è soggetta a stress idrico.

Tabella 15 -Bilancio idrico. Valori medi per il periodo 2001-2020.

12. LE LIMITAZIONI CLIMATICHE

12.1 Temperature invernali e primaverili ai valori critici

Nel periodo di pieno riposo vegetativo le vite subiscono danni solo per temperature inferiori grossomodo a -15 / -18°C (temperature critiche minime per vite in riposo).

Se la più elevata probabilità di gelate ricorre in gennaio, mese più freddo dell'anno, occorre segnalare l'elevato rischio climatico di gelate tardive tipico del mese di febbraio, ancora esposto alle irruzioni di aria fredda dai Balcani. A tale proposito si ricorda che in febbraio si sono registrate due delle tre "gelate storiche" del 20° secolo (febbraio 1929, febbraio 1956), mentre la terza (1985) si è avuta a gennaio.

Da segnalare anche che i mesi di febbraio e marzo possono presentare periodi caldi precoci che stimolano il risveglio vegetativo delle colture in presenza di un rischio ancora sensibile di gelate tardive.

12.2 Temperature estive superiori al cardinale massimo

Le ondate di caldo sull'area veneta presentano precise ragioni circolatorie. In particolare le ondate di caldo di lunga durata sono associate a promontori anticiclonici meridionali che spingono masse d'aria torrida dall'entroterra africano verso il centro del Mediterraneo. La durata media di tali ondate di caldo varia da un minimo di 9 a un massimo di 21 giorni, secondo uno studio condotto da Michele Conte (1994) che identificò 28 episodi nel periodo dal 1950 al 1992. Lo stesso Conte evidenziò anche la presenza di ondate di caldo di breve durata dovute all'anomala comparsa della corrente a getto subtropicale sull'area europea. Tale fenomeno conduce a ondate di caldo poco persistenti ma particolarmente intense. Sempre nel periodo 1952-92 sono stati individuati 32 casi di queste ondate di calore, con durata media di 3-5 giorni.

12.3 Situazioni di carenza idrica

La buona piovosità del semestre aprile - settembre (tabelle 8 e 9), ovunque superiore al 50% di quella totale annua, fa sì che l'area in esame, in presenza di una Riserva Facilmente Utilizzabile massima di 75 mm ed in condizioni di vigneto lavorato o soggetto a inerbimento controllato, lo svuotamento della riserva facilmente utilizzabile si verifichi tardivamente (nella terza decade di luglio nella parte meridionale dell'areale, in agosto nella parte settentrionale, il che la rende un fattore favorevole alla qualità. Ciò indica che le situazioni di stress idrico per la vite sono da considerare un fatto inusuale per l'area doc Garda e proprie solo delle annate più siccitose e dei terreni più grossolani e più ricchi di scheletro.

12.4 Precipitazioni abbondanti durante la raccolta e nel periodo immediatamente precedente

Alcune considerazioni in merito al rischio climatico di periodi di piovosità persistente in vicinanza della raccolta possono essere dedotte dall'analisi dei dati in tabella 10, che riportano il 10°, 50° e 90° percentile dei giorni piovosi mensili (precipitazione > 1 mm) per la stazione di Castelnuovo del Garda. Si osservi ad esempio che il mese di ottobre presenta un 90° percentile di 13 giorni, il che equivale a dire che nel 10% degli anni (quelli più piovosi) i giorni di pioggia mensili superano i 13. Più contenuto invece il rischio climatico di settembre, che presenta un 90° percentile di 9.7 giorni. In complesso comunque i percentili mostrano livelli di rischio per le operazioni di raccolta non elevatissimi e comunque tali da consentire una gestione sufficientemente agevole facendo ricorso ai sistemi di previsione meteorologica attualmente operativi.

13. DAI CARATTERI AGROCLIMATICI AGLI STILI DEI VINI

La tabella 16 illustra gli schemi interpretativi adottato per rappresentare gli effetti delle risorse e limitazioni termiche sui profili di maturazione. Si individuano in complesso 5 zone (dalla 1 alla 5) che sono rappresentate nelle carte di cui alla figura 8.

La carta di vocazionalità e la relativa legenda sono state realizzate sulla base dell'esperienza maturata nel campo della viticoltura territoriale negli ultimi vent'anni in numerose aree viticole d'Italia. In particolare si è tenuto conto dei lavori di zonazione realizzati in Valpolicella (Failla e Fiorini, 1998; Failla, 2012) e in Lombardia (Failla et al., 2004; Scienza et al. 1999 e 2008).

Il modello vocazionale considera gli effetti delle risorse termiche sulle dinamiche di accumulo di zucchero e di degradazione dell'acidità (maturità tecnologica) e, per i vitigni a bacca nera, anche le dinamiche della maturazione fenolica in termini di accumulo di antociani e di evoluzione dei tannini nella buccia e nei vinaccioli. Infine vengono considerati i profili aromatici potenziali dei vini secondo i descrittori olfattivi più comuni.

Tabella 16 - Rapporto fra i profili di maturazione per le uve a bacca nera e le risorse e limitazioni agro-climatiche. In complesso si individuano 5 zone agro-climatiche a base termica, rappresentate nella figura 8. Per ogni descrittore del profilo di maturazione il numero di + è proporzionale all'intensità attesa sulla base delle risorse termiche.

vitigni a bacca nera						
Zon ^a	Risorse termiche (IH)	Stress da caldo (h/y)	Profili di maturazione attesi:			
			Tecnologica	Fenolica	Aromatica (note attese nel vino)	
1	> 2800	> 700	accumulo zuccherino +++++ acidità titolabile ++	accumulo di antociani ++ tannicità +++++ maturità vinaccioli ++	confettura +++ fenolico +++ frutta rossa +	speziato + floreale + vegetale ++
2		< 700	accumulo zuccherino +++++ acidità titolabile ++	accumulo di antociani +++ tannicità +++ maturità vinaccioli +++	confettura ++ fenolico +++ frutta rossa +++	speziato + floreale + vegetale +
3	2600 - 2800		accumulo zuccherino +++ acidità titolabile +++	accumulo di antociani +++++ tannicità ++ maturità vinaccioli +++++	confettura + fenolico + frutta rossa +++	speziato +++ floreale +++ vegetale +
4	2400 - 2600		accumulo zuccherino ++ acidità titolabile +++++	accumulo di antociani +++++ tannicità ++ maturità vinaccioli +++	confettura + fenolico + frutta rossa ++	speziato +++ floreale +++ vegetale +++
5	< 2400		accumulo zuccherino ++ acidità titolabile +++++	accumulo di antociani ++ tannicità +++++ maturità vinaccioli ++	confettura + fenolico + frutta rossa +	speziato ++ floreale +++ vegetale +++
vitigni a bacca bianca						
Zon ^a	Risorse termiche (III)	Stress da caldo (ore annue)	Profili di maturazione attesi:			
			Tecnologica	Aromatica (note attese nel vino)		
1	> 2800	> 700	accumulo zuccherino +++++ acidità titolabile ++	fruttato +++++ floreale + erbe aromatiche +	agrumato +++ balsamico ++ vegetale ++	
2		< 700	accumulo zuccherino +++++ acidità titolabile ++	fruttato +++++ floreale + erbe aromatiche +	agrumato +++ balsamico ++ vegetale +	
3	2600 - 2800		accumulo zuccherino +++ acidità titolabile +++	fruttato +++ floreale +++ erbe aromatiche +++++	agrumato ++ balsamico + vegetale +	
4	2400 - 2600		accumulo zuccherino ++ acidità titolabile +++++	fruttato ++ floreale +++ erbe aromatiche +++++	agrumato + balsamico +++ vegetale +++	
5	< 2400		accumulo zuccherino ++ acidità titolabile +++++	fruttato + floreale +++++ erbe aromatiche ++	agrumato + balsamico + vegetale +++	

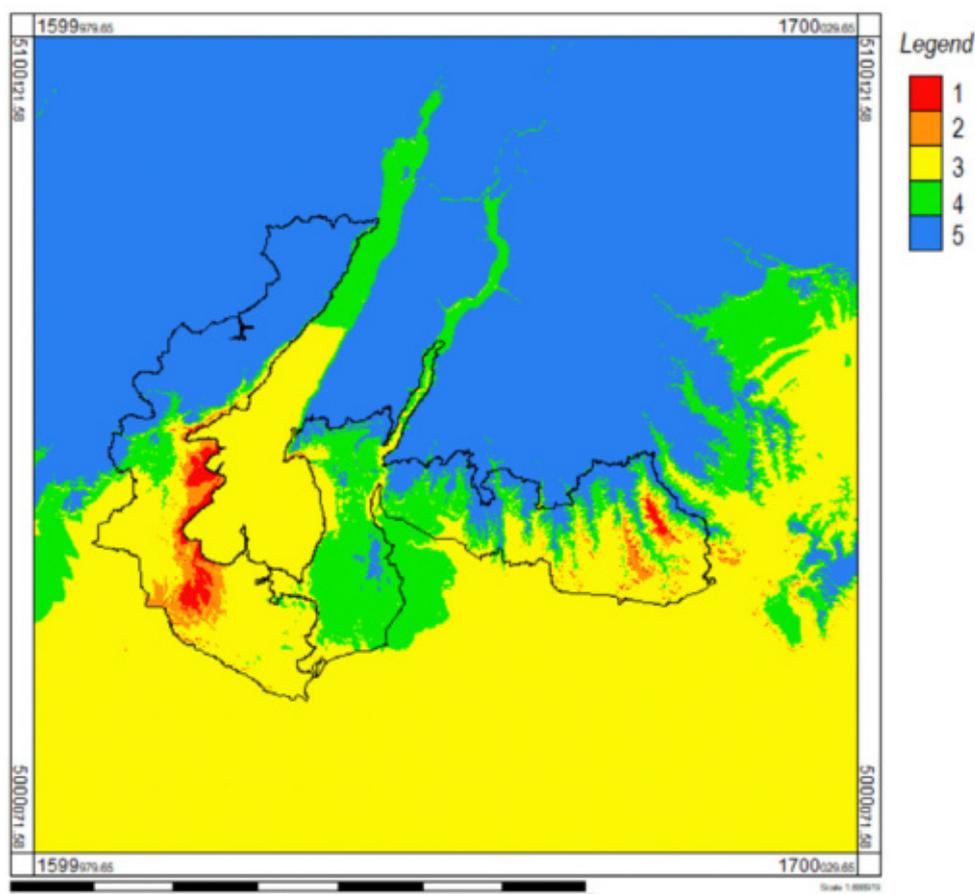


Figura 8 - Carta delle 5 zone vocazionali per uve nere e bianche

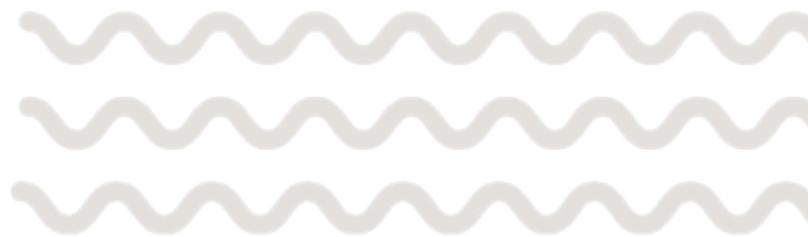
14. CONCLUSIONI

L'analisi condotta ha permesso di descrivere in termini quantitativi il clima dell'area viticola della DOC Garda. I risultati consentono di affermare che i caratteri agroclimatici dell'area viticola indagata ne fanno un territorio vocato ad una viticoltura di qualità. Tale conclusione è suffragata sia dall'analisi delle risorse climatiche sia da quella degli elementi climatici limitanti. Da tali analisi emergono in particolare i buoni o ottimi livelli delle risorse radiative, termiche e pluviometriche, che si collocano su valori simili a quelli riscontrati nelle migliori aree viticole italiane e mondiali mentre le limitazioni non sono in alcun modo in grado di pregiudicare l'attività viticola. L'area presenta una marcata variabilità agroclimatica interna che rappresenta una fonte di diversità enologica di indubbio valore per le politiche di sviluppo, valorizzazione e comunicazione della denominazione. In particolare la specifica conformazione dei rilievi morenici e la massa acquee del lago determinano una situazione di marcata asimmetria nella disponibilità di risorse termiche. La fascia occidentale della costa meridionale del lago, con una marcata estensione meridionale beneficia di maggiori risorse termiche mentre l'area orientale del Garda meridionale si caratterizza per un regime termico più mite. L'effetto mitigante del lago appare propagarsi anche nella Valpolicella occidentale. L'area meridionale della costa non sembra invece essere influenzata dall'effetto lago.

I livelli di rischio climatico e la variabilità interannuale delle risorse climatiche consigliano comunque di mantenere nel tempo le attività di rilevamento agrometeorologico e fenologico in stretto collegamento con il servizio meteorologico regionale e con gli altri servizi territorialmente competenti.

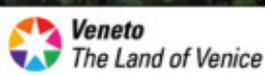
BIBLIOGRAFIA

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* - FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO - Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome (<http://www.fao.org/docrep>)
- Bai J., Perron P., 2003. Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models, *Journal of Applied Econometrics*, 18: 1-22.
- Belloni S, Pelfini M., 1987. *Il gradiente termico in Lombardia*, *Acqua - Aria*, 4: 441-447.
- Belloni S., 1982. *Temperature medie annue e mensili nel bacino padano e parametri fisici derivati*. *Geogr.Fis. e Dinam. Quat.*, Torino, 5: 46-54.
- Benincasa F., Maracchi G., Rossi P., 1991. *Agrometeorologia*, Patron, Bologna.
- Cati L., 1981. *Idrografia e idrologia del Po, Poligrafico dello Stato*, 310 pp.
- Conrad V., 1944. *Methods in climatology*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 266 pp.
- De Philippis, A., 1937. *Classificazioni e indici del clima in rapporto alla vegetazione forestale italiana*, *Nuovo Giornale Botanico Italiano*, vol. XLIV, 90-101
- Eccel E., Toller G., 2001. *Le gelate primaverili in Val d'Adige - singolarità micrometeorologiche studiate su un evento*, in *Atti di Aiam 2001*, 44-56. (http://www.agrometeorologia.it/documenti/Aiam2001/44-56_gelate-primaverili.pdf)
- Failla O. 2012 Risultati: definizione e caratterizzazione delle Unità Vocazionali in AA.VV., *La Valpolicella: dal visibile alla scoperta dell'invisibile*, Consorzio per la tutela dei vini Valpolicella, Verona, 2012.
- Failla O., Fiorini P. (a cura di) 1998 *La zonazione viticola della val d'Ilasi: manuale d'uso per il viticoltore*. Cantina Sociale di Ilasi. pp. 178.
- Failla O., Mariani L., Brancadoro L., Minelli R., Scienza A., Murada G. Mancini S. 2004 Spatial distribution of solar radiation and its effects on vine phenology and grape ripening in an alpine environment. *Am. J. Enol. Vitic.* 55, 2: 128-138.
- FAO, 2000. *World - wide agroclimatic database FAOCLIM2*, Environmental and natural resources, Working paper n.5.
- Golden Software Inc., 2000. *Surfer 8 user guide* (www.goldensoftware.com)
- Hann I., 1908. *Handbuch der klimatologie*, Engelhorn, Stuttgart, 394 pp.
- Houghton D., 1985. *Handbook of applied meteorology*, Wiley.
- Lamb H.H., 1966. *The changing climate*, Methuen, London, 236 pp.
- Larcher W., 1983. *Physiological plant ecology*, Springer.
- Lugli G., 1882, *Andamento della tensione con l'altitudine e con l'altezza*, *Annali di meteorologia italiana*, Roma.
- Mariani L., 2002. *Agrometeorologia*, Clesav, 292 pp.
- Mariani L., 2006. *Clima ed agricoltura in Europa e nel bacino del Mediterraneo dalla fine dell'ultima glaciazione*, *Rivista di storia dell'agricoltura*, anno XLVI, n.2, 3-42.
- Mariani L., 2008. *Note scientifiche per un discorso sul clima*, edizioni IF, 115 pp.
- Mariani L., Failla O., 2016. *Clima e viticoltura*, capitolo 2 del testo *Progressi in viticoltura*, a cura di M. Boselli, EDISES Unversitaria, 19-38.
- Mennella, I climi d'Italia, F.lli Conte, Napoli, 1977.
- Olaya V., 2004. *A gentle introduction to SAGA Gis* (<http://geosun1.uni-geog.gwdg.de/saga/html/index.php>)
- Ottone C., Rossetti R., 1980. *Condizioni termo-pluviometriche della Lombardia*, *Atti dell'Istituto Geologico dell'Università di Pavia*.
- Scienza A., Failla O., Mariani L., Rustioni L., Minelli R., Toninato L., Cricco J., Bacchiega D., Zappata A., Monterisi L., Colombo A., Maffi M., Panont C.A. 2008 *Guida all'utilizzo della Denominazione di Origine Pinot Nero in Oltrepò Pavese*. Consorzio Tutela Vini Oltrepò Pavese, Broni, pp. 222.
- Scienza A., Panont C.A., Minelli R., Failla O., Comolli G., 1999 *La zonazione della Franciacorta: il modello viticolo della DOCG*. *Riv. Vitic. Enol.* 52, 3:5-25.
- Spinedi F., 1991. *Il clima del Ticino e della Mesolcina con accenni di climatologia generale*, *Meteosvizzera*, report n. 167, 53 pp.



www.gardadocvino.it
[@gardadocvino](https://www.instagram.com/gardadocvino)

Iniziativa realizzata nell'ambito del Progetto Aggregato presentato da ATI per la promozione dei vini Garda DOC, Custoza DOC, Bardolino DOC e Valpolicella DOC e DOCG



www.veneto.eu

Iniziativa finanziata dal Programma di Sviluppo Rurale per il Veneto 2014 - 2020.
Organismo responsabile dell'informazione: **Consorzio Vino Garda Doc**
Autorità di gestione: Regione del Veneto, Direzione AdG FEASR Bonifica e Irrigazione