



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente

Dip. Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in

Scienze e Tecnologie Agrarie

ANALISI GEOSTATISTICA DEL DANNO CAUSATO DA *PLASMOPARA VITICOLA* SU PINOT GRIGIO

Relatore

Prof. Francesco Marinello

Correlatore

Dott. Marco Sozzi

Laureando

Giacomo Ottoni

Matricola n. 1240458

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Riassunto

Negli ultimi anni all'agricoltura è stato chiesto un enorme sforzo in termini di riduzione dell'impatto sull'ambiente e conseguente aumento della sostenibilità. Al settore agricolo vengono imputate diverse esternalità negative dal punto di vista ambientale.

Nella società è sempre più diffusa la consapevolezza in merito alla sostenibilità della produzione alimentare, di cui l'utilizzo sostenibile dei pesticidi costituisce una componente importante, come confermato dall'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile e dal documento di riflessione della Commissione europea sul tema "Verso un'Europa sostenibile entro il 2030.

In quest'ottica l'agricoltura di precisione e l'analisi massima di tutti i dati che possono attualmente essere raccolti è di fondamentale importanza.

Per quanto riguarda la "difesa di precisione" del vigneto abbiamo diverse attrezzature disponibili, come: nebulizzatori a recupero che sfruttano la geolocalizzazione per effettuare trattamenti più efficienti, irroratrici a rateo variabile che effettuano trattamenti calibrati in funzione alle caratteristiche della pianta e non per ultimi i sistemi di previsione delle malattie (DSS) che ci permettono di effettuare un minor numero di trattamenti, con un conseguente risparmio economico e un minor impatto sull'ambiente.

La sperimentazione condotta nel vigneto oggetto di studio è volta infatti a migliorare le attuali conoscenze in termini di variabilità spaziale dei sintomi di *Plasmopara viticola* (peronospora della vite), uno dei patogeni più importanti in viticoltura.

I risultati più interessanti riguardano l'analisi della varianza per quanto riguarda il numero di foglie e l'indice di McKinney calcolato sui sintomi sui grappoli.

L'andamento dell'indice NE nel caso del numero di foglie ha un andamento decrescente in quanto passa dal 7% fino ad arrivare al 2%, questo sta a significare una forte dipendenza spaziale di questa variabile ed una variabilità che si struttura durante l'arco della stagione. Caso inverso invece per quanto riguarda l'indice di McKinney calcolato sui grappoli in quanto passiamo da un 5% e arriviamo a toccare il 34% nella penultima misurazione, riscontrando una natura maggiormente casuale rispetto al numero di foglie.

Questi dati potranno essere poi sfruttati per implementare e migliorare i modelli previsionali attualmente disponibili e favorire quindi un utilizzo più oculato dei prodotti fitosanitari ed una maggior protezione delle risorse naturali.

L'analisi geostatistica effettuata ha portato alla luce che alcuni dei fattori analizzati, hanno una variabilità che durante la stagione si "struttura", questo potrà quindi essere sfruttato in ricerche successive e portate alla produzione di modelli previsionali più accurati.

Abstract

In recent years agriculture has been required to make a huge effort in terms of reducing the impact on the environment and consequently increasing sustainability. Several negative environmental externalities are attributed to the agricultural sector.

Awareness of the sustainability of food production is increasingly widespread in society, of which the sustainable use of pesticides is an important component, as confirmed by the United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development and the European Commission's reflection paper. on the theme "Towards a sustainable Europe by 2030".

Precision agriculture and the maximum analysis of all the data that can currently be collected is of fundamental importance.

As regards the "precision treatments" of the vineyard, we have various equipment available, such as: recovery nebulizers that use geolocation to carry out more efficient treatments, variable rate sprayers that carry out treatments calibrated according to the characteristics of the plant and finally the disease prediction systems (DSS) that allow us to carry out fewer treatments, with consequent economic savings and a lower impact on the environment.

The experimentation conducted in the vineyard under study is in fact aimed at improving the current knowledge in terms of spatial variability of the symptoms of *Plasmopara viticola* (downy mildew of the vine), one of the most important pathogens in viticulture.

The most interesting results concern the analysis of variance regarding the number of leaves and the McKinney index calculated on the symptoms on the bunches.

The trend of the NE index in the case of the number of leaves has a decreasing trend as it passes from 7% up to 2%, this means a strong spatial dependence of this variable and a variability that is structured during the arc of the season. On the contrary, the reverse case about the McKinney index calculated on the clusters as we go from 5% and reach 34% in the second-last measurement, finding a more random nature than the number of leaves.

These data can then be exploited to implement and improve the forecast models currently available and thus favour a more prudent use of plant protection products and greater protection of natural resources.

The geostatistical analysis carried out has brought to light that some of the factors analyzed have a variability that "is structured" during the season, this can therefore be exploited in subsequent research and led to the production of more accurate forecast models.

Sommario

Riassunto	I
Abstract	III
Sommario	V
Indice delle tabelle.....	VII
Indice delle figure	VIII
1 Introduzione	1
1.1 Sostenibilità ed utilizzo dei prodotti fitosanitari	2
1.1.1 Agenda 2030 in agricoltura	3
1.1.2 Green deal	4
1.1.3 Farm to fork	5
1.1.4 PAN	6
1.2 Mezzi e strategie di difesa in vigneto	9
1.2.1 Lotta classica.....	12
1.2.2 Lotta integrata	12
1.2.3 Protocollo di difesa nel biologico	14
1.2.4 DSS per la difesa delle colture	16
1.3 Viticoltura di precisione	19
1.3.1 Variabilità.....	23
1.3.2 Geostatistica	25
1.4 Obiettivi dello studio.....	29
2 Materiali e metodi.....	30
2.1 Caratterizzazione del sito sperimentale	30
2.2 Campionamento	31

2.3	Metodo di analisi	35
2.3.1	Metodologia	35
3	Risultati e discussione	36
3.1	Analisi dei dati.....	36
	Conclusioni	50
	Bibliografia.....	52
	Sitografia	56

Indice delle tabelle

Tabella 1.1 Specifica prodotti fitosanitari venduti in Italia 2011-2019 source	13
Tabella 1.2 Tipologia di dati ottenibili dai vari sensori e relativi benefici.	21
Tabella 1.3 Confronto sensori di "remote sensing" source: (Ammoniaci et al. 2021).....	21
Tabella 1.4 Sensori prossimali e relative applicazioni source: (Ammoniaci et al. 2021)	22
Tabella 2.1 Date rilievi	31
Tabella 2.2 Classi di danno utilizzate per la stima	34
Tabella 3.1 Riepilogo risultati n° foglie 01/06/2021.....	36
Tabella 3.2 Riepilogo risultati n° foglie 18/06/2021.....	37
Tabella 3.3 Riepilogo risultati n° foglie 06/07/2021.....	37
Tabella 3.4 Riepilogo risultati n° foglie 26/07/2021.....	38
Tabella 3.5 Riepilogo risultati McKinney Index 01/06/2021	40
Tabella 3.6 Riepilogo risultati McKinney Index 18/06/2021	40
Tabella 3.7 Riepilogo risultati McKinney Index 06/07/2021	41
Tabella 3.8 Riepilogo risultati McKinney Index 26/07/2021	41
Tabella 3.9 Riepilogo risultati n° grappoli 01/06/2021	43
Tabella 3.10 Riepilogo risultati n° grappoli 18/06/2021	43
Tabella 3.11 Riepilogo risultati n° grappoli 06/07/2021	44
Tabella 3.12 Riepilogo risultati n° grappoli 26/07/2021	44
Tabella 3.13 Riepilogo risultati McKinney Index 01/06/2021	46
Tabella 3.14 Riepilogo risultati McKinney Index 18/06/2021	46
Tabella 3.15 Riepilogo risultati McKinney Index 06/07/2021	47
Tabella 3.16 Riepilogo risultati McKinney Index 26/07/2021	47
Tabella 3.17 Riepilogo risultati McKinney Index oidio 26/07/2021	49
Tabella 3.18 Riassunto Risultati sperimentazione.....	49

Indice delle figure

Figure 1.1 Prodotti fitosanitari venduti in Europa nel 2018	3
Figure 1.2 – 17 SDG – fonte un.org	4
Figure 1.3 - Il Green Deal europeo – fonte: COM (2019) 640	5
Figure 1.4 - Strategia Farm to Fork – fonte: www.ec.europa.eu	6
Figure 1.5 Ciclo peronospora della vite source: www.apsnet.org	10
Figure 1.6 Variazione % prodotti fitosanitari venduti 2011-2019 source: Eurostat	13
Figure 1.7 La tabella riassume le caratteristiche dei modelli presi in esame. (Zanchin et al., 2022)	17
Figure 1.8 Schema workflow ADP source: (Ammoniaci et al., 2021)	20
Figure 1.9 Spandiconcime VRT source: www.agriprecisone.it	23
<i>Figure 1.10 Esempio esplicativo variogramma</i>	26
Figure 1.11 interfaccia vesper	27
Figure 2.1 Vigneto oggetto dello studio	30
Figure 2.2 Carta dei suoli regione Veneto	31
Figure 2.3 punti di campionamento	32
Figure 2.4 Andamento climatico rilevato dalla centralina aziendale durante il periodo di studio.	32
Figure 2.5 Standard di riferimento per la quantificazione di peronospora su foglia	33
Figure 2.6 Standard di riferimento per quantificazione peronospora su grappolo	34
Figure 3.1 Risultati analisi n° foglie 01/06/2021	36
Figure 3.2 Risultati analisi n° foglie 18/06/2021	37
Figure 3.3 Risultati analisi n° foglie 06/07/2021	37
Figure 3.4 Risultati analisi n° foglie 26/07/2021	38
Figure 3.5 Variazione NE n° foglie	38
Figure 3.6 Variazione SDI n° foglie	39
Figure 3.7 Risultati analisi McKinney Index 01/06/2021	40
Figure 3.8 Risultati analisi McKinney Index 18/06/2021	40
Figure 3.9 Risultati analisi McKinney Index 06/07/2021	41
Figure 3.10 Risultati analisi McKinney Index 26/07/2021	41
Figure 3.11 Variazione NE McKinney index foglie	42

Figure 3.12 Variazione SDI McKinney index foglie	42
Figure 3.13 Risultati n° grappoli 01/06/2021	43
Figure 3.14 Risultati analisi n° grappoli 18/06/2021	43
Figure 3.15 Risultati analisi n° grappoli 06/07/2021	44
Figure 3.16 Risultati analisi n° grappoli 26/07/2021	44
Figure 3.17 Variazione NE n° grappoli	45
Figure 3.18 Variazione SDI n° grappoli	45
Figure 3.19 Risultati analisi McKinney Index 01/06/2021	46
Figure 3.20 Risultati analisi McKinney Index 18/06/2021	46
Figure 3.21 Risultati analisi McKinney Index 06/07/2021	47
Figure 3.22 Risultati analisi McKinney Index 26/07/2021	47
Figure 3.23 Variazione NE McKinney index grappoli.....	48
Figure 3.24 Variazione SDI McKinney index grappoli.....	48
Figure 3.25 Risultati analisi McKinney Index oidio 26/07/2021.....	49

1 Introduzione

Da diversi anni la comunità scientifica internazionale sostiene che l'aumento della produzione delle emissioni di gas serra (GHG), sia il principale responsabile del riscaldamento globale.

La sostenibilità ambientale dell'agricoltura, quindi, deve tenere conto degli impatti sull'ambiente, alcuni a scale spaziali più grandi rispetto all'azienda agricola stessa. Queste esternalità sono considerevoli: l'agricoltura utilizza quasi il 40% della superficie terrestre, utilizza circa il 70% di acqua estratta e, attraverso il dilavamento agricolo, inquina fiumi dei due terzi dei bacini fluviali del mondo; ha degradato fino ad un quarto dei terreni agricoli, è leader all'abbandono delle terre, mentre allo stesso tempo cerca nuovo terreno coltivabile attraverso la conversione di habitat naturali e seminaturali (Tilman et al., 2011); produce più gas a effetto serra di qualsiasi altro settore ed è forse la più grande minaccia alla biodiversità globale. (German et al., 2017)

A partire dalla fine degli anni 90' l'Unione Europea attraverso il protocollo di Kyoto sottoscritto durante la conferenza delle parti (COP3) ed entrato in vigore nel 2005 ha iniziato a porsi degli obiettivi per cercare di ridurre le emissioni di gas serra. Successivamente, con la conferenza sul clima di Parigi del 2015 (COP21), tutti i paesi aderenti si sono posti l'obiettivo di contenere l'innalzamento della temperatura al di sotto dei 2°C, il quale è anche un obiettivo del più recente Green Deal europeo.

Per raggiungere questo obiettivo, la strategia a lungo termine che ha presentato l'unione Europea consiste nella riduzione di almeno il 55% delle emissioni entro il 2030 e il raggiungimento dell'impatto 0 entro il 2050.

Con l'ultima conferenza delle parti (COP 26) svoltasi a Glasgow nel 2021, si è fatto il punto della situazione rispetto agli impegni intrapresi dalle nazioni unite nella precedente COP 21.

Da questa riunione è emerso che gli sforzi fatti fino ad ora non sono abbastanza, e che per poter raggiungere l'obiettivo della neutralità climatica è necessario un deciso cambio di rotta, molto più ambizioso di tutto quello fatto fino ad ora.

In un documento pubblicato dalla commissione europea nel 2019 intitolato "Towards a sustainable Europe by 2030" sono elencati tutte le azioni intraprese per rendere l'Europa maggiormente sostenibile. In tutte queste proposte, l'agricoltura gioca un ruolo fondamentale. Ci sono diversi programmi politici come gli SDG (sustainable development goals) o il farm to fork

che attribuiscono al settore agricolo un ruolo fondamentale per cercare di raggiungere gli obiettivi ambientali prefissati.

L'insieme di queste azioni attualmente si riassume nel Green Deal europeo che indica la strada da seguire per realizzare questa profonda trasformazione.

Tra gli obiettivi di questo patto ci sono la protezione dell'ambiente e del suolo, ed è all'interno di questo scopo che si inserisce l'aspirazione di cercare di ridurre l'utilizzo di prodotti fitosanitari e farne un utilizzo più "attento".

1.1 Sostenibilità ed utilizzo dei prodotti fitosanitari

L'Unione europea beneficia di uno dei sistemi più rigorosi al mondo, se non il più severo, per quanto concerne l'autorizzazione e il controllo dell'utilizzo dei pesticidi.

La direttiva 2009/128/CE sull'utilizzo sostenibile dei pesticidi, il regolamento (CE) n. 1107/2009, il regolamento (CE) n. 396/2005, il regolamento (UE) 2017/625 e il regolamento (CE) n. 1185/2009 costituiscono la base legislativa per l'utilizzo sicuro e sostenibile dei pesticidi nell'Unione europea.

L'obiettivo di tale quadro di riferimento per i pesticidi consiste nel ridurre al minimo l'impatto dei pesticidi sulla salute umana e sull'ambiente attraverso la riduzione della dipendenza dagli stessi e attraverso un maggiore utilizzo di pesticidi a basso rischio e non chimici. (COM(2020)204)

All'interno di tutti i programmi politici europea intrapresi fino ad oggi, l'utilizzo oculato delle risorse e la riduzione delle sostanze inquinanti utilizzate per la difesa fitosanitaria è un obiettivo sempre presente.

La direttiva 2009/128/CE sull'utilizzo sostenibile prevede una serie di azioni per conseguire un uso sostenibile dei pesticidi riducendone i rischi e gli impatti sulla salute umana e sull'ambiente. Uno dei suoi elementi chiave consiste nell'attuazione della difesa integrata e nella promozione di tecniche o approcci alternativi, in modo da ridurre la dipendenza dai pesticidi.

All'interno della direttiva sopra citata, vista l'eterogeneità degli stati membri, viene imposto ad ogni stato di redigere un piano d'azione e di mantenerlo aggiornato in modo tale da definire le azioni da intraprendere a livello nazionale e fissare degli obiettivi.

Anche precedentemente alla pubblicazione di questa direttiva, nella testa dei cittadini europei c'è sempre stato l'obiettivo di cercare di ridurre il proprio impatto ambientale, e l'utilizzo di prodotti di sintesi nella difesa fitosanitaria è sempre stato visto come un obiettivo primario.

Dal 2009 ad oggi si sono susseguiti una serie di programmi politici europei che hanno sempre incluso al proprio interno l'ambizione di ridurre l'utilizzo dei prodotti inquinanti in agricoltura. Per questo motivo nei prossimi capitoli andremo a descriverli brevemente per poter capire quanto sia importante per l'opinione pubblica la questione della sostenibilità nell'utilizzo dei prodotti fitosanitari.

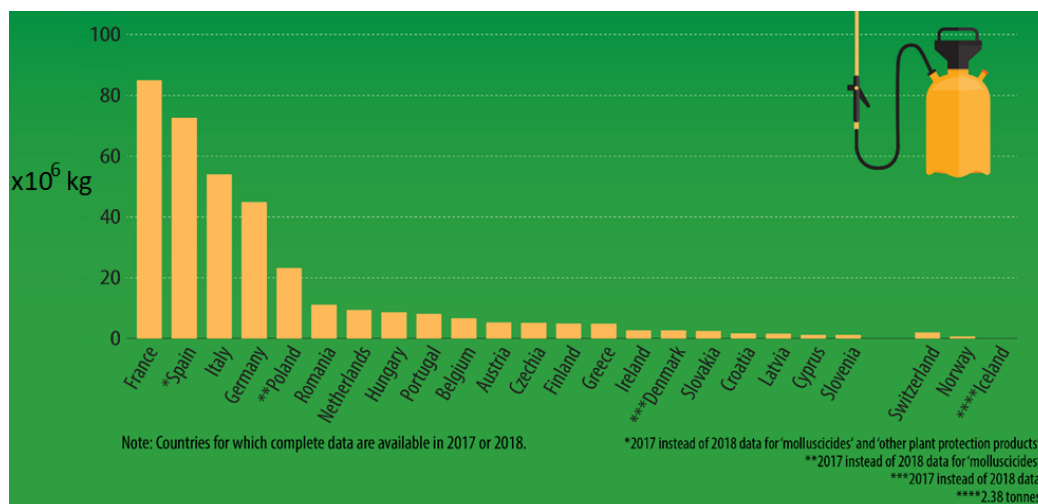


Figure 1.1 Prodotti fitosanitari venduti in Europa nel 2018 (fonte Eurostat).

Come possiamo riscontrare dalla figura 1.1, la direzione delineata dai vari programmi politici europei verso un utilizzo sempre più sostenibile dei prodotti fitosanitari si adatta estremamente bene al territorio e alle realtà italiane

Infatti, l'Italia insieme a Francia, Spagna e Germania nel 2018 rappresentavano le vendite di circa i due/terzi dei prodotti fitosanitari venduti in Europa, anche se è pur vero che circa il 49% dei terreni "arabili" ricade in questi Stati, e quindi questo dato non è poi così allarmante.

1.1.1 Agenda 2030 in agricoltura

L'Agenda 2030 per la sostenibilità e lo sviluppo impegna la comunità internazionale ad agire insieme per migliorare e trasformare il nostro mondo per le generazioni presenti e future. (FAO 2017). Il 25 settembre del 2015 gli stati membri delle nazioni unite hanno adottato l'agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, la quale include al proprio interno 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG). Come possiamo vedere da questo lungo elenco il mondo agricolo può davvero giocare un ruolo fondamentale per il raggiungimento di diversi degli obiettivi sopra citati.



Figure 1.2 – I 17 Sustainable Development Goals – fonte un.org

Le azioni principali collegate al mondo dell'agricoltura per il raggiungimento degli SDG sono:

- Migliorare l'uso efficiente delle risorse
- Conservare, proteggere e migliorare gli ecosistemi naturali
- Proteggere e migliorare le zone rurali e i mezzi di sussistenza e benessere sociale.
- Migliorare la resilienza delle persone, comunità ed ecosistemi
- Promuovere il buon governo di sistemi naturali e umani. (FAO 2017)

Con particolare riferimento all'argomento centrale di questa tesi, che è l'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari, si potrebbero includere diversi SDG, poiché attraverso la riduzione e l'utilizzo più attento di prodotti inquinanti si avrebbe sicuramente una maggior qualità e sicurezza del cibo che viene prodotto ed oltre a questo si avrebbe sicuramente una maggior tutela della natura e dell'acqua, e tutti gli ecosistemi naturali.

1.1.2 Green deal

Il Green Deal europeo tratta di una nuova strategia di crescita mirata a trasformare l'UE in una società giusta e prospera, dotata di un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva che nel 2050 non genererà emissioni nette di gas a effetto serra e in cui la crescita economica sarà dissociata dall'uso delle risorse.

Essa mira inoltre a proteggere, conservare e migliorare il capitale naturale dell'UE e a proteggere la salute e il benessere dei cittadini dai rischi di natura ambientale e dalle relative conseguenze. (COM (2019)640)

Il Green Deal è parte integrante della strategia della commissione per attuare l'agenda 2030 e gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle nazioni Unite.

All'interno di questo accordo, come in tutti i precedenti, l'agricoltura gioca un ruolo importantissimo.

Infatti, gli agricoltori Europei giocheranno un ruolo fondamentale nella gestione della transizione ecologica, poiché dovranno sostenere diversi "sforzi" volti ad affrontare i cambiamenti climatici, proteggere l'ambiente e preservare la biodiversità.

Ritornando alla questione prodotti fitosanitari anche all'interno del green deal questi vengono citati, come riportato nella comunicazione della commissione al parlamento europeo del 11 novembre 2019: *"I piani strategici dovranno riflettere un maggiore livello di ambizione per ridurre significativamente l'uso di pesticidi chimici e i rischi connessi, nonché l'uso di fertilizzanti e antibiotici"*.

Quindi possiamo notare come risulti di fondamentale importanza sviluppare delle tecniche che ci aiutino a raggiungere questo ambizioso obiettivo.



Figure 1.3 - Il Green Deal europeo – fonte: COM (2019) 640

1.1.3 Farm to fork

La strategia Farm to Fork è il cuore del Green Deal che punta a produrre cibo etico, sano e sostenibile dal punto di vista ambientale.

La strategia dal produttore al consumatore punta ad accelerare la transizione verso un sistema di produzione del cibo che dovrebbe:

- Avere un impatto ambientale neutro o addirittura positivo;
- Aiutare a mitigare il cambiamento climatico e adattarsi ai suoi impatti;

- Invertire la perdita di biodiversità;
- garantire la sicurezza alimentare, la nutrizione e la salute pubblica, assicurando che tutti abbiano accesso a cibo sufficiente, sicuro, nutriente e sostenibile;
- preservare l'accessibilità economica degli alimenti generando allo stesso tempo ritorni economici più equi, promuovendo la competitività del settore dell'approvvigionamento dell'UE e promuovendo il commercio equo.



Figure 1.4 - Strategia Farm to Fork – fonte: www.ec.europa.eu

1.1.4 PAN

Come definito dalla direttiva 2009 sull'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari, ogni stato membro è tenuto a redigere e mantenere aggiornati dei piani di azione nazionale.

Il primo e per ora unico PAN redatto a livello italiano è stato adottato attraverso il decreto interministeriale del 22 gennaio del 2014.

In linea con i contenuti della direttiva 2009/128/CE e del decreto legislativo n. 150/2012, il Piano si propone di raggiungere i seguenti obiettivi generali, al fine di ridurre i rischi associati all'impiego dei prodotti fitosanitari:

- ridurre i rischi e gli impatti dei prodotti fitosanitari sulla salute umana, sull'ambiente e sulla biodiversità;
- promuovere l'applicazione della difesa integrata, dell'agricoltura biologica e di altri approcci alternativi;
- proteggere gli utilizzatori dei prodotti fitosanitari e la popolazione interessata;

- tutelare i consumatori;
- salvaguardare l'ambiente acquatico e le acque potabili;
- conservare la biodiversità e tutelare gli ecosistemi.

Per il raggiungimento dei citati obiettivi il Piano, in via prioritaria, si propone di:

- assicurare una capillare e sistematica azione di formazione sui rischi connessi all'impiego dei prodotti fitosanitari;
- garantire un'informazione accurata della popolazione circa i potenziali rischi associati all'impiego dei prodotti fitosanitari;
- assicurare una capillare e sistematica azione di controllo, regolazione e manutenzione delle macchine irroratrici;
- prevedere il divieto dell'irrorazione aerea, salvo deroghe in casi specifici;
- prevedere specifiche azioni di protezione in aree ad elevata valenza ambientale e azioni di tutela dell'ambiente acquatico;
- prevedere che le operazioni di manipolazione, stoccaggio e smaltimento dei prodotti fitosanitari e dei loro contenitori sia correttamente eseguita;
- prevedere la difesa a basso apporto di prodotti fitosanitari delle colture agrarie, al fine di salvaguardare un alto livello di biodiversità e la protezione delle avversità biotiche delle piante, privilegiando le opportune tecniche agronomiche;
- prevedere un incremento delle superfici agrarie condotte con il metodo dell'agricoltura biologica, ai sensi del regolamento (CE) 834/07 e della difesa integrata volontaria (legge n. 4 del 3 febbraio 2011);
- individuare indicatori utili alla misura dell'efficacia delle azioni poste in essere con il Piano e favorire un'ampia divulgazione dei risultati del relativo monitoraggio.

In linea con le linee guida della direttiva 2009 il piano d'azione nazionale dovrebbe essere rivisto ed aggiornato ogni 5 anni, sfortunatamente a livello italiano è stata pubblicata soltanto la bozza del PAN 2019, ma che per svariati motivi non è ancora stato reso attuativo.

La bozza del piano contiene i seguenti obiettivi:

1. aumento del 30% della superficie agricola condotta con il metodo della produzione integrata, certificata ai sensi della legge n. 4 del 3 febbraio 2011, con riferimento all'anno 2017;

2. aumento del 60% della superficie agricola condotta con il metodo dell'agricoltura biologica, con riferimento all'anno 2017;
3. aumento dell'80% della superficie agricola condotta con il metodo dell'agricoltura biologica nelle aree naturali protette e nei Siti Natura 2000, con riferimento all'anno 2017;
4. riduzione del 20% delle quantità di sostanze attive di prodotti fitosanitari candidate alla sostituzione immesse in commercio, con riferimento alla media del triennio 2016 - 2018;
5. riduzione del 10% delle quantità di sostanze attive di prodotti fitosanitari prioritarie e pericolose prioritarie immesse in commercio, di cui alla tabella 1/A del d.lgs. 13 ottobre 2015, n 172, con riferimento alla media del triennio 2016 - 2018;
6. percentuale non superiore all'1% dei campioni di alimenti di origine vegetale con presenza di residui di sostanze attive di prodotti fitosanitari non conformi ai requisiti del regolamento (CE) n. 396/2005;
7. percentuale pari al 25% degli utilizzatori professionali dei prodotti fitosanitari che operano nei siti della Rete Natura 2000 e nelle aree naturali protette, ai quali è erogata una formazione specifica sui temi riguardanti le peculiarità di tali aree e la necessità di tutela della biodiversità;
8. percentuale inferiore allo 0,5% di campioni che presentano sostanze attive prioritarie e pericolose prioritarie in concentrazioni superiori allo 0,1 microgrammi/l nelle acque superficiali, fatto salvo il rispetto degli obblighi previsti dalla normativa sulla tutela della qualità delle acque;
9. percentuale inferiore allo 0,5% di campioni che presentano sostanze attive candidate alla sostituzione in concentrazioni superiori allo 0,1 microgrammi/l nelle acque superficiali.

Rispetto al precedente piano d'azione quello in bozza riporta sicuramente degli obiettivi più "definiti" e pertanto, risulta molto più ambizioso.

Indipendentemente da tutte le azioni politiche intraprese a più livelli relative all'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari, risulta di fondamentale importanza cercare di individuare tecniche e metodologie innovative che ci permettano di ridurre o addirittura eliminare l'utilizzo di sostanze inquinanti per la difesa fitosanitaria.

1.2 Mezzi e strategie di difesa in vigneto

La vite è, come tutte le piante di interesse agrario, soggetta a notevoli problematiche fitosanitarie causate da funghi, batteri e virus. Vista la situazione l'utilizzo di prodotti fitosanitari risulta perciò fondamentale per evitare perdite di prodotto, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. Dai dati raccolti da Eurostat in Italia nel 2019 sono stati utilizzati 24.285.678 kg di fungicidi e 8.524.260 kg di erbicidi, che però possono essere letti in maniera "confortante" perché rispetto al dato registrando dal 2011 si ha avuto diminuzione del 40%, segno di un'ottima ricerca sull'utilizzo di soluzioni alternative ai prodotti fitosanitari.

Le più temute malattie della vite di origine fungina sono peronospora, botrite, oidio e mal dell'esca. Oltre a queste, ha notevole importanza nei protocolli di difesa la flavescenza dorata causata da fitoplasmi. Queste patologie e i rispettivi agenti eziologici sono riportati di seguito.

- *Plasmopara viticola*: agente eziologico della peronospora della vite. Questa patologia è endemica della *Vitis selvatica*, specie autoctona del Nord America. *Plasmopara viticola* è stato osservato per la prima volta in Europa nel 1878. Probabilmente è stato introdotto in Europa con le talee americane utilizzate per reimpiantare i vigneti francesi distrutti dalla fillossera. Dall'inizio del XX secolo, la malattia è diventata chiaramente un problema per la viticoltura e le epidemie in Europa erano sporadiche e irregolari. Negli anni con condizioni meteorologiche favorevoli e senza la disponibilità di misure di controllo sufficienti, la peronospora ha causato gravi danni alla viticoltura in Germania, Francia e Svizzera. (Cesare Gessler et al., 2011)

Attualmente la peronospora è la più importante malattia della vite negli ambienti umidi e a clima continentale temperato, inizia a manifestarsi in primavera con l'aggressione di tutti i tessuti verdi più giovani ancora in accrescimento.

I principali sintomi della malattia sono:

- Macchie d'olio (pagina superiore)
- Macchie sfarinate (pagina inferiore)
- Macchie a mosaico
- Marciume grigio su grappolo fiorale
- Peronospora larvata o marciume bruno (su grappolo in caso di infezione in fioritura)

- Ripiegamenti ad uncino di germogli e grappolini

La forma svernante di *Plasmopara viticola* sopravvive al periodo invernale come oospore incorporate in foglie morte e altri tessuti ospiti sul terreno della vigna. Le oospore possono essere rilasciate dal materiale vegetale in decomposizione sulla superficie del suolo. Le oospore in genere producono sporangi. Questi sporangi, a loro volta, producono zoospore. Sporangi e zoospore vengono spruzzate dalla pioggia o portate dal vento verso le foglie e i tessuti inferiori delle viti. Le condizioni necessarie per la germinazione delle oospore sono terreni umidi con temperature superiori a 10°C. Una regola empirica definisce che per la germinazione servano precipitazioni di almeno 10 mm e un periodo di 24 ore per soddisfare il requisito di umidità del suolo. Una volta che le zoospore si formano e sono disperse nel tessuto ospite, si verificherà un'infezione con un minimo di 45 gradi-ore di umidità delle foglie ("ore di grado" è la somma delle temperature orarie - °C- fino a raggiungere il valore specificato). Le zoospore incistano per poi germinare e penetrare attraverso stomi. Gli sporangi sono solitamente attivi dopo 5-7 ore di luce solare; quindi, la maggior parte delle infezioni si verificano al mattino. Dopo l'infezione, il patogeno cresce nello spazio intercellulare, producendo austori.

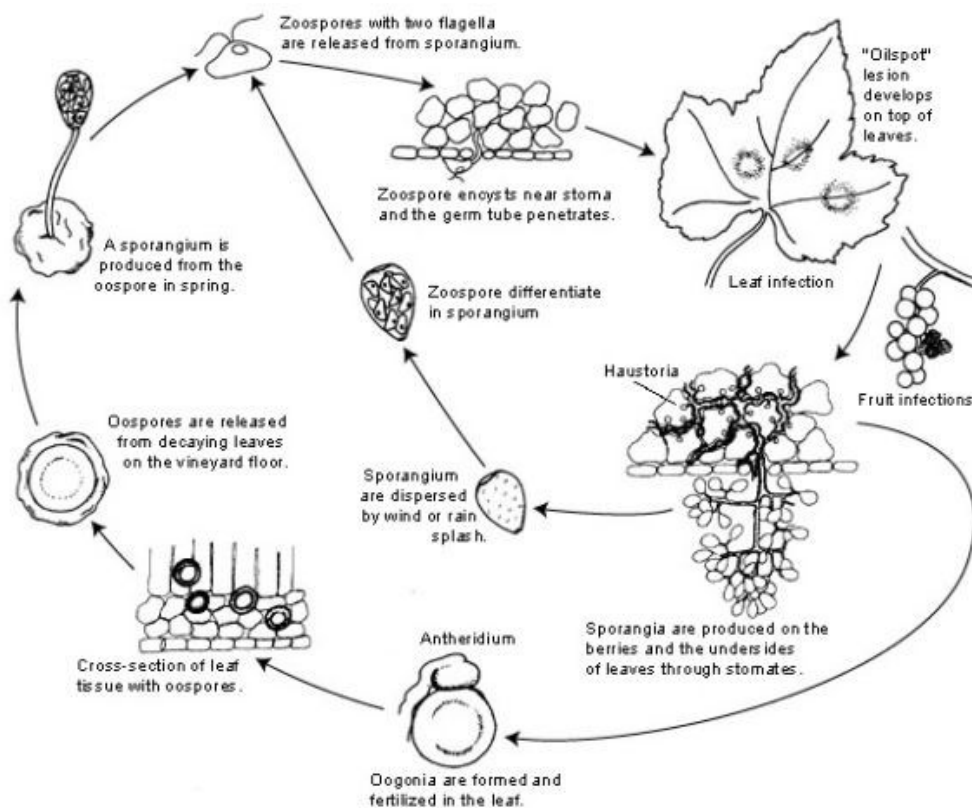


Figure 1.5 Ciclo peronospora della vite source: www.apsnet.org

Gli sporangi per le infezioni secondarie sono prodotti su sporangiofori che emergono attraverso stomi di foglie infette e altri tessuti della vite (es. grappoli). La produzione di sporangiofori e sporangi richiede da 95 a 100% di umidità relativa e almeno 4 ore di oscurità a temperature inizialmente superiori a 13°C. La longevità e la produttività delle lesioni fogliari è correlata alla frequenza con cui sono stati indotti a sporulare. In assenza di un'opportunità di sporulare o temperature estremamente elevate, le lesioni in genere hanno mantenuto il loro massimo potenziale di produrre sporangi per almeno 22-24 giorni o anche fino a 2-3 mesi. Gli sporangi sono dispersi in nuovi siti di infezione da pioggia spruzzi e/ o vento; quest'ultimo si verifica quando sporangi vengono rilasciati nell'aria come l'umidità diminuisce. Le zoospore prodotte da questi sporangi vengono rilasciate in acqua e vengono ulteriormente diffuse dal vento o dagli spruzzi di pioggia.

Il periodo di incubazione (il tempo dall'infezione alla comparsa di nuovi sintomi) varia da 5 a 21 giorni a seconda della temperatura, dell'organo bersaglio dell'ospite e della resistenza ontogenica. Il periodo di incubazione è più breve (circa 5 giorni) a temperature medie da 20-25°C. A temperature medie di 12°C o inferiori, il periodo di incubazione è di 14 giorni o più.

La riproduzione sessuale avviene verso la fine della stagione. Le oospore risultanti sono a pareti spesse e servono come spore di sopravvivenza.(Ash, 2000)

Per quanto riguarda la difesa si fa principalmente affidamento sul rame, ammesso in agricoltura biologica professionale, mentre la ricerca di prodotti fitosanitari più efficaci e persistenti ha prodotto diversi fitofarmaci di sintesi; che talvolta sono meno impattanti a livello ambientale del rame stesso.

- *Uncinula necator*, oidio della vite, è un'altra malattia tra le più distruttive della vite, si tratta di un fungo che sverna sulla pianta, sulle gemme ancora chiuse o tra le screpolature della corteccia. Elevata umidità e una bagnatura prolungata sono le condizioni climatiche che favoriscono l'infezione primaria e secondaria a stagione avanzata. I principali metodi di difesa dall'oidio si basano su prodotti fitosanitari a base di zolfo.
- *Botrytis cinerea*, botrite o muffa grigia è un'altra malattia importante nella vite, botrite causata da un fungo polifago che sverna nei residui infetti caduti a terra e nelle screpolature della corteccia. Un discreto controllo e contenimento della botrite avviene attraverso l'aerazione dei grappoli sfruttando metodi meccanici, questo si effettua

soprattutto durante le fasi di maturazione ed in alternativa all'occorrenza si utilizzano prodotti specifici.

- Il mal dell'esca è una sindrome complessa provocata da più specie di patogeni fungini, in forma acuta può portare la pianta alla morte in breve tempo, la forma cronica causa un indebolimento lento della pianta che muore nell'arco di qualche anno. Ad oggi la prevenzione è l'unico modo per combattere questa malattia in quanto non esistono cure. Inizialmente è necessario utilizzare piante certificate di qualità, varietà non suscettibili, realizzare un impianto ben drenato e senza ristagni d'acqua. Infine, le piante che presentano sintomi devono essere capitozzate e distrutte in quanto possono essere fonte di nuove infezioni.
- La vite è soggetta anche ad alcune malattie causate da virus e da fitoplasmi, come ad esempio la flavescenza dorata. La lotta contro queste classi di fitopatie avviene sia con la prevenzione in vivaio, che rimuovendo le piante sintomatiche in vigneto e controllando gli organismi vettori di questi patogeni.

1.2.1 Lotta classica

Fino a qualche anno fa il controllo delle avversità delle colture avveniva utilizzando il concetto di trattamenti a calendario. In quanto al presentarsi delle condizioni meteorologiche che iniziavano a favorire la presenza della malattia, si partiva con dei trattamenti standard ad intervalli di tempo regolari. Successivamente, a partire dal 2000 si è sviluppato il concetto di rischio di malattia in cui la coltura veniva trattata con prodotti fitosanitari, quali fungicidi e insetticidi, qualora il rischio di infezione risultasse alto, fino ad arrivare al 2009, anno in cui l'uso dei prodotti fitosanitari è stato normato con la direttiva numero 128 dell'UE che ha permesso la nascita della lotta Integrata.

1.2.2 Lotta integrata

La direttiva 128/2009/CE ha determinato un importante spartiacque nelle strategie di difesa fitosanitaria per tutte le colture agrarie.

L'introduzione della strategia di lotta integrata ha portato al raggiungimento di traguardi importanti in termini di utilizzo oculato dei prodotti fitosanitari.

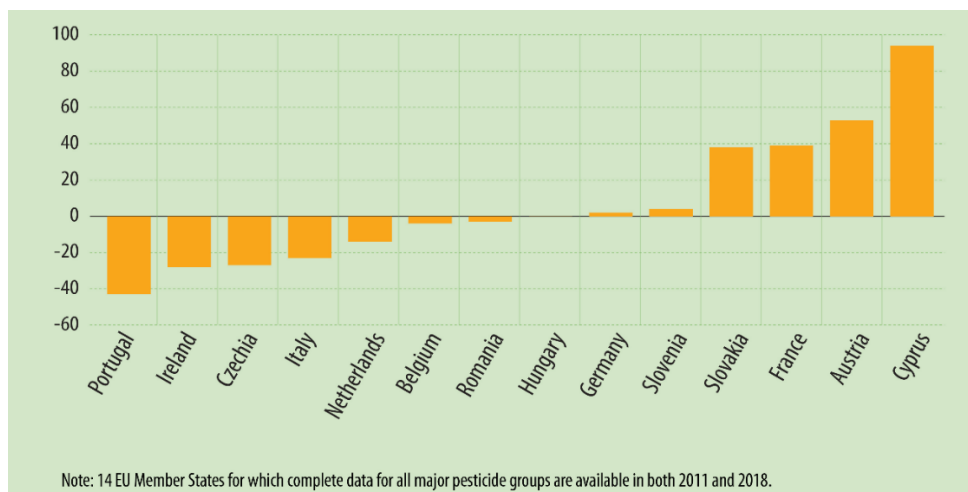


Figure 1.6 Variazione % prodotti fitosanitari venduti 2011-2019 source: Eurostat

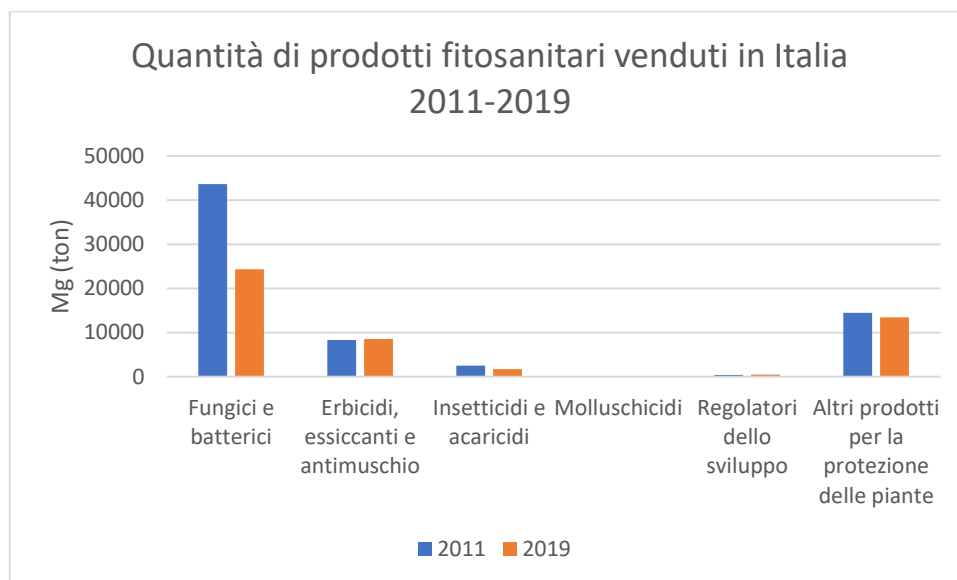


Tabella 1.1 Specifica prodotti fitosanitari venduti in Italia 2011-2019 source: Eurostat

Come possiamo vedere dalla tabella 1.1 dal 2011 al 2019 sono stati fatti passi da gigante a livello italiano per quanto riguarda le tonnellate di prodotti fitosanitari venduti.

L'utilizzo dei prodotti fitosanitari ha permesso l'aumento delle produzioni e la "semplificazione" dei sistemi di coltivazione (Barzman et al., 2015) non bisogna perciò stigmatizzare questi prodotti anche se collegati a effetti di contaminazione degli ecosistemi, ma bisogna favorire l'utilizzo sostenibile di quest'ultimi, come di fatto cerca di fare la lotta Integrata.

La lotta integrata si basa su otto principi definiti dalla direttiva 128/2009 che sono:

- Prevenzione e soppressione;

- Monitoraggio;
- Decisioni basate sul monitoraggio e l'utilizzo di soglie.

In riferimento alla vite, le strategie di lotta per applicare gli otto principi sopra citati sono quelle che andremo ad elencare nei prossimi paragrafi.

- Utilizzo di varietà tolleranti o resistenti
- Agenti di bio-controllo contro i patogeni
- Agenti di bio-controllo contro insetti dannosi e vettori
- Utilizzo di semiochemicals e mezzi fisici per impedire l'accoppiamento degli insetti dannosi.
- Utilizzo di sistemi di supporto alle decisioni (DSS)
- Utilizzare prodotti alternativi agli erbicidi

(Pertot et al., 2017)

L'applicazione della lotta integrata e quindi di tutte le strategie sopra citate, ha portato ad una notevole riduzione della quantità di prodotti fitosanitari utilizzati ma non ha una riduzione della produttività; si potrebbe quindi affermare che questa tecnica risulta sostenibile sia dal punto di vista "green" che da quello "etico", poiché non considera unicamente il discorso ambientale ma anche quello di mantenimento delle produzioni.

1.2.3 Protocollo di difesa nel biologico

L'agricoltura biologica europea è normata dal regolamento UE/848/2018, che va ad ampliare ed implementare il precedente regolamento CE/834/2007, questo regolamento ha come obiettivo quello di rivedere e rafforzare le regole dell'UE sulla produzione biologica e sull'etichettatura dei prodotti biologici con riferimento a sistemi di controllo, regimi di scambio e norme di produzione; In riferimento alla produzione biologica il regolamento si propone di:

- rispettare i sistemi e i cicli naturali e mantenere e migliorare lo stato dei suoli, delle acque e dell'aria, la salute dei vegetali e degli animali e l'equilibrio tra di essi;
- preservare elementi del paesaggio naturale;
- assicurare un impiego responsabile dell'energia e delle risorse naturali;
- produrre un'ampia varietà di prodotti di elevata qualità che rispondano alla domanda dei consumatori;

- garantire l'integrità della produzione biologica in tutte le fasi della produzione, della trasformazione e della distribuzione di alimenti e mangimi;
- escludere l'uso di organismi geneticamente modificati (OGM)
- limitare l'uso di fattori di produzione esterni;
- progettare e gestire i processi biologici usando metodi basati sulla valutazione del rischio e l'uso di misure cautelative e preventive;
- escludere la clonazione di animali;
- garantire un elevato livello di benessere degli animali.

In biologico i produttori devono adottare misure preventive in ogni fase dalla produzione fino alla distribuzione, devono attivare queste misure per garantire la difesa della biodiversità e del suolo comunque cercando di prevenire ed eventualmente controllare organismi nocivi e malattie.

Per valutare il protocollo di difesa della vite in biologico potremmo prendere in considerazione un articolo di Merot et al. (2020) dove si prendono in considerazione diversi vigneti francesi e si confronta il loro percorso di conversione e le relative produzioni rispetto a dei vigneti convenzionali.

I prodotti fitosanitari nei vigneti in conversione con principi attivi sintetici sono stati sostituiti con prodotti non sintetizzati chimicamente (rame, zolfo o bio-agenti, come consentito dal regolamento (CE) n. 834/2007 del Consiglio); ove possibile sono state implementate misure "preventive" (ovvero, qualsiasi azione intrapresa per ridurre la quantità di inoculo del patogeno o prevenire la diffusione della malattia) o vengono utilizzate cultivar resistenti.

La conversione ha richiesto ai viticoltori una maggior capacità di prevedere e prevenire le malattie poiché rispetto ai comuni prodotti fitosanitari, quelli utilizzati in agricoltura biologica sono risultati meno efficienti. Si è quindi reso indispensabile l'uso di sistemi di supporto alle decisioni (DSS) che aiutassero i viticoltori a prendere scelte più consapevoli e tempestive.

L'obiettivo principale dello studio preso come esempio era quello di mostrare l'effetto del processo di conversione al biologico ed i livelli dei principali parassiti e patogeni della vite. I patogeni presi in considerazione sono stati peronospora, oidio, botrite e tignola dell'uva. La conclusione dello studio è che i parassiti e le malattie sono state controllate a un livello simile nell'agricoltura convenzionale rispetto al terzo anno di conversione. Tuttavia, nei primi due anni

sono state rilevate incidenze e gravità più elevate di parassiti e malattie nei vigneti conversione all'agricoltura biologica.

La strategia di difesa della vite in biologico può essere portata ai livelli del convenzionale solo se assistita da tecniche di gestione estremamente efficienti, come ad esempio i DSS.

1.2.4 DSS per la difesa delle colture

I sistemi di supporto alle decisioni (DSS) sono una specifica classe di sistema informatici che supporta le attività decisionali. Un DSS progettato correttamente è un sistema interattivo basato su software che aiuta i decisori a ottenere informazioni utili da dati grezzi, documenti, conoscenze personali, e/o modelli al fine di identificare e risolvere problemi e prendere decisioni. I DSS possono essere semplici come uno strumento per l'elaborazione di dati o complessi come un computer. (Rossi et al., 2012)

L'importanza dei DSS basati su sistemi computerizzati è costantemente aumentata a partire dagli anni '80 e un numero elevato di DSS sono stati sviluppati per favorire agenti, consulenti e coltivatori nella gestione delle colture. I DSS possono fornire agli utenti informazioni sul rischio di malattie delle piante mettendo le conoscenze scientifiche e algoritmi razionali di gestione a favore degli agricoltori (Rossi, Caffi, and Salinari 2012; Hochman and Carberry 2011). Tali informazioni possono essere utilizzate per la pianificazione dei trattamenti in modo da effettuarli nel momento giusto e con le giuste tempistiche. (Rossi, Caffi, and Salinari 2012) Abbiamo diversi sistemi di supporto alle decisioni, in particolare per quanto riguarda la vite i principali DSS sviluppati negli ultimi anni sono: DSS per la peronospora, DSS per l'oidio e DSS per la botrite.

La coltivazione della vite costituisce solo il 6% della superficie coltivata totale in Italia; tuttavia, più del 40% dei DSS disponibili sul mercato sono disegnati ad hoc per questa coltura, o hanno funzionalità estendibili ad essa. (Zanchin et al., 2022)

PRODUTTORE	NOME	PAESE	CENTRALINA METEO	IRRIGAZIONE	PATOGENI	FERTILIZZAZIONE	EFFICACIA TRATTAMENTO	PREVISIONI METEO	GESTIONE	REGISTRO TRATTAMENTI	MAPPE PRESCRIZIONE	IV
Idroplan	Idroplan	ITA	X	X	P, O, BT, BR		X					
Informatica Ambientale srl	IRRISmart	ITA	X	X								

Hort@	Vite.net	ITA		X	P,O,BT,BR,T,S,C	X	X	X	X	X		
Basf	Agrigenius Vite	ITA		X	P,O,BT,BR,T,S,C	X	X	X	X	X		
netsense	VineSense	ITA	X		P,O,BT,T,F		X	X				
Pessl Instruments GmbH	FieldClimate	AUT	X	X	P,O,BR,T,BT,			X				
Agricolus	GrapeDSS	ITA	X	X	P,O,BT,T,A	X		X	X	X		X
OneSoil	OneSoil	SWZ	X			X		X			X	X
DigitEco srl	Digiteco	ITA	X		P,O,BT,T							
IOT Solution	SaveGrape	ITA	X		P,O,BT					X		
Agroscope	VitiMeteo	SWZ			P,O,BR,T,A				X			
Primo Principio / Sangoi green srl	WiForWine	ITA	X	X	P;BT;O					X		
Sysman	Blueleaf	ITA	X	X								
Elaisia Srl	Elaisian	ITA	X		P,O,BT,T					X		X
ANBI	Irriframe	ITA		X								

Figure 1.7 La tabella riassume le caratteristiche dei modelli presi in esame. (Zanchin et al., 2022)

DSS per la peronospora: Uno dei primi modelli previsionali per la peronospora della vite è stato il modello EPI (État Potentiel d'Infection), sviluppato in Francia negli anni 80'. Questo modello si basa sulla supposizione che *P. viticola* si sia adattata alle condizioni climatiche di una zona specifica e che le variazioni meteorologiche annuali da queste influenzino lo sviluppo di agenti patogeni. EPI si basa su due diverse equazioni: la prima equazione esprime l'energia potenziale dell'agente patogeno; la seconda equazione rappresenta la cosiddetta energia cinetica', per esempio la capacità dell'inoculo di *P. viticola* di causare infezioni. L'indice EPI rappresenta il potenziale infettivo dell'agente patogeno e dipende dalla combinazione di queste due equazioni. L'energia potenziale del fungo è calcolata tra il primo ottobre e il 31 marzo, con una fase temporale di 10 giorni, sulla base della le differenze di temperatura dell'aria e le precipitazioni dell'anno in corso rispetto alla media climatica calcolata su 30 anni. Questo indice si basa quindi su dati storici e ci restituisce un valore numerico. Sulla base delle esperienze storiche è stata definita una soglia, superata la quale si presume l'infezione possa partire. (Caffi et al., 2007)

Studi recenti hanno dimostrato che le oospore rappresentano una fonte di inoculo per l'infezione da *P. viticola* per tutta la stagione (Rossi et al., 2013) e, in alcuni casi, il loro contributo alla epidemia nel suo complesso è superiore a quella delle infezioni secondarie, a causa degli sporangi. Questa nuova concezione del ciclo di vita *P. viticola* è stata recentemente incorporata in un modello meccanicistico per la dinamica

simulazione di infezioni primarie di *P. viticola* (Rossi et al., 2008), legato ad un modello di ciclo di vita.

Il modello di Rossi et al. (2008) è stato valutato in più di 100 vigneti del nord, Italia meridionale e insulare (dal 1995 al 2007) e con piante di vite in vaso esposte all'inoculo (dal 2006 2008), e anche nelle condizioni ambientali nella provincia di Quebec, Canada orientale, confrontando il tempo della comparsa di lesioni prevista dal modello con osservazioni sul campo. Questo modello ha sempre mostrato una precisione molto elevata e quando usato per programmare l'applicazione di fungicidi contro la peronospora, ha permesso una riduzione dal 50 al 66% in applicazioni di pesticidi, corrispondenti a un risparmio medio di 174 e 224 €/ha, rispettivamente (Caffi et al., 2010). Infine, il tutto è stato integrato in un DSS denominato vite.net (Pertot et al., 2017).

Esistono anche DSS che lavorano in sinergia, come ad esempio il fuzzy control system (FCS) che è un sistema di supporto alle decisioni sviluppato per lavorare grazie agli input forniti da vite.net. Questo sistema acquisisce gli output di vite.net e successivamente fornisce supporto su sé effettuare o non effettuare un trattamento nei confronti della peronospora. Il sistema FCS è stato testato confrontando la schedulazione dei fungicidi di rame contro *P. viticola* in 18 vigneti biologici d'Italia come determinato da un gruppo di cinque esperti rispetto ai consigli del supporto FCS. Il sistema FCS è stato in grado di riprodurre il ragionamento degli esperti con una precisione complessiva di 0,992. (Gonzalez-Dominguez et al., 2016)

Altro DSS sviluppato in Spagna è Vinesens il quale ha l'obiettivo di creare vigneti eco-intelligenti supportati da un sistema tecnologico. Tale sistema è in grado di monitorare un vigneto in tempo reale e offre un sistema web che fornisce informazioni aggiornate sullo stato delle viti. Inoltre, VineSens supporta il processo decisionale del viticoltore. Il sistema notifica quando la peronospora ha raggiunto una soglia e quando devono essere adottate misure preventive. Pertanto, VineSens si concentra sulla riduzione dell'uso di sostanze chimiche fornendo al viticoltore un piano personalizzato di controllo della malattia, che porta ad un più ecologico e soluzione sostenibile. Il sistema offre anche costi operativi inferiori utilizzando il tempo e le malattie indici per ridurre il lavoro e il numero di trattamenti.

Inoltre, il sistema di monitoraggio fornisce i valori storici e in tempo reale di diversi parametri ambientali, generando statistiche che possono contribuire ad adottare misure specifiche per migliorare i trattamenti eseguiti. (Pérez-Expósito et al., 2017)

Un ulteriore DSS interessante per la difesa e la gestione delle operazioni in vigneto è quello sviluppato da Agricolus srl , e si chiama GrapeDSS.

Questo DSS è pensato per accompagnare e consigliare i viticoltori durante tutta l'annata agraria. Infatti, attraverso le immagini satellitari permette di tener monitorata la vigoria, fornendo consigli in merito alla gestione di questa. Oltre a quello dispone di due modelli previsionali, uno specifico per la peronospora basato su parametri meteorologici e colturali. Questo modello simula lo sviluppo delle infezioni secondarie e fornisce degli alert al superamento di determinate soglie. (source: www.agricolus.com).

1.3 Viticoltura di precisione

Oggi la coltivazione dell'uva da vino, eccellenza fra le colture agrarie, rappresenta un'attività complessa indotta da un elevato processo evolutivo nelle tecniche e tecnologie operative. Lo sviluppo di queste tecnologie ha portato le aziende competitive all'intensa ricerca di soluzioni che possano coniugare la necessità di abbattere i costi nelle numerose, complesse e vincolate operazioni richieste dal ciclo della vite, con la forte esigenza di valorizzazione dell'ambiente, del territorio e delle sue genti. (Casa et. al, 2016).

La filiera viti-vinicola è tra i settori con uno sviluppo avanzato dell'agricoltura di precisione (AdP). Ciò deriva essenzialmente da alcuni fattori di forza del nostro sistema di ricerca e dalla vivacità tecnico-culturale del settore, ma specialmente per le tecnologie innovative proprie dell'AdP che possono offrire soluzioni applicative particolarmente in linea con quelle che sono le attuali richieste del comparto. Proprio in viticoltura, infatti, la massimizzazione del reddito avviene specialmente attraverso l'aumento del valore del prodotto (ovvero della sua qualità). ("Ministero Delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali LINEE GUIDA PER LO SVILUPPO DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE IN ITALIA,")

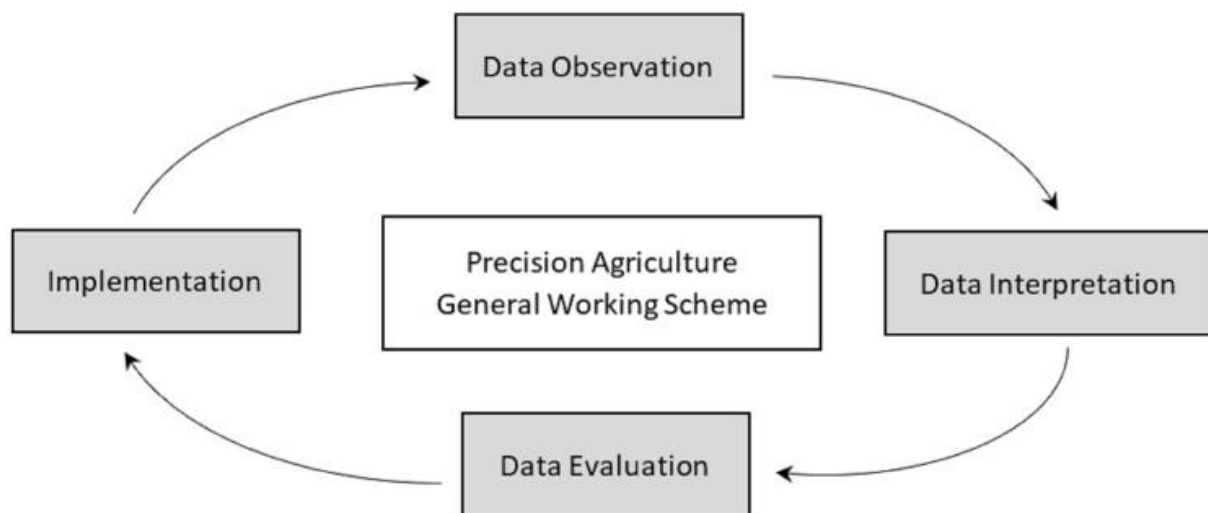


Figure 1.8 Schema workflow ADP source: (Ammoniaci et al., 2021)

I benefici provati di PA sono molti e possono essere riassunti come segue:

- Massimizzazione dei rendimenti;
- identificazione dello stress delle piante;
- monitoraggio costante delle colture con la possibilità di attuare azioni mirate;
- riduzione della variabilità all'interno del campo;
- Riduzione dei costi e dei tempi delle operazioni agricole;
- ridurre l'impatto ambientale delle operazioni agricole;
- Ottimizzazione dell'uso di fertilizzanti, pesticidi e acqua;
- Aumento della qualità dei prodotti.

(Ammoniaci et al., 2021)

Abbiamo moltissimi fattori che incidono sul management della coltivazione e possono essere analizzati come quelli riportati nella tabella sottostante.

Nel corso degli anni per riuscire a raccogliere tutte le tipologie di dati riassunti nella tabella 1.1 sono stati sviluppati moltissimi sensori come quelli che andremo a descrivere nei prossimi paragrafi.

La prima suddivisione viene fatta tra sensori che acquisiscono dati da remoto e sensori di prossimità. Per quanto riguarda i sensori che acquisiscono dati da remoto come possiamo prendere come riferimento i sistemi di telerilevamento i quali sono caratterizzati da sensori ottici come telecamere a vista (RGB) sensori multispettrali che rilevano bande specifiche per l'analisi della vegetazione, sensori termici, utili per misurare la temperatura degli impianti e identificare l'acqua

stress, e sensori iper-spetttrali, che permettono di effettuare analisi approfondite sulle colture e per lo studio delle malattie.

TIPO DI MONITORAGGIO DATI	BENEFICI	
METEOROLOGICI	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Umidità • Bagnatura fogliare • Velocità del vento • Precipitazioni • Radiazione solare 	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenzione delle malattie. • Gestione dei prodotti fitosanitari e dell'acqua.
SUOLO	<ul style="list-style-type: none"> • EC • Struttura del suolo • Contenuto di SO • pH • Umidità 	<ul style="list-style-type: none"> • Concimazioni • Gestione della semina e dell'acqua • Progettazione dei nuovi impianti
PIANTA	<ul style="list-style-type: none"> • Vigoria • LAI • Fluorescenza • Tasso di crescita 	<ul style="list-style-type: none"> • Concimazioni • Gestione p.f. • Raccolta • Defogliazione • Gestione dell'acqua
FRUTTI	<ul style="list-style-type: none"> • Grado di maturazione • Zuccheri • Antociani • Acidità • Tasso di crescita 	<ul style="list-style-type: none"> • Raccolta selettiva per aumentare la qualità del prodotto finale.

Tabella 1.2 Tipologia di dati ottenibili dai vari sensori e relativi benefici.

SENSORE	RISOLUZIONE	AUTONOMIA	AREA COPERTA	COSTO PER ETTARO
SATELLITE	0.4-100m	Illimitata	Migliaia di ettari	Gratis-0.3€/ha
AEREO	10-100cm	1-3 ore	Centinaia di ettari	100-500 €/ha
DRONE	0.5-10cm	30-60 min	Decine di ettari	60-120 €/ha

Tabella 1.3 Confronto sensori di "remote sensing" source: (Ammoniacci et al., 2021)

Le tecnologie di telerilevamento, come i satelliti e gli UAV, sono state ampiamente utilizzate per valutare le zone di gestione dei vigneti al fine di aumentare la qualità del vino, e stima dei fenolici delle bacche e del colore alla raccolta.

Nella tabella 1.2, è riportato il confronto tra diverse piattaforme di telerilevamento in termini di tempo/capacità territoriale e da un punto di vista economico.

La necessità di monitorare i cambiamenti dello stato delle colture nel tempo e nello spazio ha portato allo sviluppo di tecniche di rilevamento alternative rispetto ai metodi tradizionali. Attraverso i sensori prossimali, è possibile ottenere informazioni in modo rapido e relativamente a basso costo per quanto riguarda il suolo, la copertura della vegetazione, lo stato nutrizionale, l'efficienza del sistema fotosintetico e il processo di evapotraspirazione, stato dell'acqua, concentrazione di pigmenti, stato fitosanitario e risposta produttiva. Tuttavia, i sensori prossimali richiedono tarature sito-specifiche e, in alcuni casi, l'analisi dei dati può essere complessa.

I sensori prossimali sono generalmente di due tipi: ottici o per contatto. Nella tabella 1.3, è riportata la panoramica dei sensori di rilevamento prossimali e della loro applicazione.

(Ammoniaci et al., 2021)

SENSORE	APPLICAZIONI
<ul style="list-style-type: none"> • Radiometrico • Fluorometro • Applicazioni 	<ul style="list-style-type: none"> • Vigore della chioma • Valutazione dello stress della pianta • Contenuto di clorofilla • Contenuto di azoto • LAI • Stress idrico
<ul style="list-style-type: none"> • Geofisico • Spectro-radiometrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Composizione del suolo e sua struttura
<ul style="list-style-type: none"> • Fluorometro • Spectro-fotometrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualità dell'uva • Valutazione della maturazione

Tabella 1.4 Sensori prossimali e relative applicazioni source: (Ammoniaci et al., 2021)

In viticoltura di precisione, sfruttando l'impiego di tecnologie geomatiche avanzate, è possibile raccogliere le informazioni necessarie ad elaborare un quadro completo della qualità del vigneto e delle uve, e di conseguenza, impostare una gestione colturale razionale.

Oggi è quindi possibile effettuare:

- Concimazioni e applicazioni localizzate a rateo variabile;
- Interventi differenziali sull'apparato fogliare con defogliatrici VRT;
- Irrorazioni a rateo variabile;
- Gestione differenziale del suolo;

- Controllo dell'inerbimento e della pacciamatura differenziali;
- Sistemi di irrigazione a controllo separato
- Raccolta differenziata delle uve

(Casa et. al, 2016)



Figure 1.9 Spandiconcime VRT source: www.agriprecisione.it

1.3.1 Variabilità

Per capire la definizione di variabilità in viticoltura dobbiamo partire dal concetto più ampio delle zonazioni vitivinicole. La zonazione permette di studiare una zona viticola attraverso un approccio che analizza i fattori caratteristici di un terroir, tali fattori definiscono le caratteristiche qualitative di quella zona. Per Terroir si intende il rapporto che lega il vitigno al microclima e alle caratteristiche pedologiche del suolo in cui è coltivato, questo determina il carattere e l'unicità del vino che viene prodotto rispetto ad altre zone.

In questo contesto la caratteristica particolare del vino di esprimere, a volte in maniera univoca, proprietà legate alla variabilità degli elementi fondamentali di un ambiente, il suolo, il microclima, l'altitudine ed il versante, il tipo di cura della pianta e la varietà stessa, viene oggi ricercata ed esaltata, in piena conformità, con il nuovo approccio evolutivo dell'agricoltura di precisione. (Casa et. al, 2016)

All'interno di un appezzamento abbiamo diverse tipologie di variabilità, l'interazione di tutti questi fattori porta al risultato finale che nel caso di un vigneto è il vino.

Imparare a conoscere e “gestire” la variabilità all’interno di un campo, è fondamentale per ottenere un prodotto finale di qualità ed è uno degli scopi dell’agricoltura di precisione.

Fin dalla prima comparsa e utilizzo commerciale di sensori e rilevatori di resa sull'uva, è stato evidente che la resa delle uve presenta una notevole variabilità spaziale. Infatti, molti viticoltori sono pienamente consapevoli che questa variabilità influisce non solo sulla produzione, ma anche su altri parametri relativi alla qualità dell'uva. Di conseguenza, è molto difficile prevedere la resa dell'uva e la qualità del prodotto che entra effettivamente nel vino cantina. (Arnó et al., 2012)

Abbiamo diverse tipologie di variabilità come quella spaziale, colturale e gestionale.

Variabilità spaziale

Rappresenta la variabilità di produzione dovuta a zone disomogenee all’interno dello stesso appezzamento.

A sua volta la produzione è influenzata dalla severità degli attacchi dei patogeni e nel caso della vite estremamente influenti sono gli attacchi di *Plasmopara viticola*.

Lo sviluppo e la diffusione della peronospora sono influenzati da molteplici fattori e questi determineranno la sua variabilità spaziale.

L’andamento climatico influenza notevolmente lo sviluppo di questa malattia, quindi precipitazioni e temperature, condizionano sia la partenza delle infezioni primarie che quelle secondarie ed al termine della stagione il passaggio al ciclo sessuale e la conseguente produzione delle oospore. (Leroux & Tisseyre, 2019)

I trattamenti stessi ed i prodotti utilizzati influenzano a loro volta la variabilità spaziale del patogeno; l’agricoltura di precisione con le attrezzature VRT potrebbe dare risultati sorprendenti se applicata correttamente.

La pianta e le sue difese influenzano lo sviluppo della peronospora, sia in termini di resistenze genetiche che in termini di stato nutrizionale e difese strutturali. (Cesare Gessler et al., 2011)

Infine, influenzando indirettamente lo stato della pianta il suolo è un fattore da tenere in considerazione per valutare la variabilità spaziale di un patogeno come la peronospora.

Il suolo è una matrice complessa mutevole nel tempo e nello spazio influenzata da una molteplicità di fattori e pertanto le sue caratteristiche chimico-fisiche che determinano le sue funzioni vanno tenute monitorare.

Le proprietà del suolo che possono influenzare la variabilità sono molteplici, come:

- struttura,
- pH,
- conducibilità elettrica,
- percentuale di CaCO₃,
- sostanza organica
- profondità del suolo;

Abbiamo inoltre proprietà relative alla topografia del campo come altitudine e pendenza, ed infine gli elementi nutritivi presenti e la loro quantità. (N, P, K, Ca, Mg, Fe, S, Zn, Cu, Mn, B e Na).(Arnó et al., 2012)

Variabilità gestionale

È la variabilità che viene indotta dalle operazioni colturali effettuate dall'uomo. È possibile che alcune di queste non avvengano in modo omogeneo (irrigazione imprecisa e disomogenea dovuta da un settaggio non corretto delle macchine, o da condizioni ambientali che influenzano la corretta esecuzione del lavoro) o che incontrino una risposta diversa in base alla posizione nell'appezzamento.

Variabilità temporale

Questa tipologia di variabilità interessa le proprietà dinamiche o semi-dinamiche che possiamo trovare in un appezzamento e consiste nell'attitudine di un determinato fenomeno a manifestarsi con un'intensità differente nel corso del tempo. Si può suddividere a sua volta in intra-annuale e inter-annuale a seconda della diversa intensità con cui si manifesta un parametro nello stesso punto del campo nella medesima stagione o in stagioni colturali diverse, in base ad interazioni tra suolo, coltura, clima e gestione colturale

1.3.2 Geostatistica

La geostatistica consente la quantificazione e la modellizzazione della variabilità spaziale di quelle proprietà ambientali ritenute rilevanti per l'applicazione dell'AdP.

La geostatistica è definita come lo studio dei fenomeni regionalizzati, cioè distribuiti nello spazio che presentano un'organizzazione o una struttura spaziale. L'obiettivo di questa è arrivare alla

produzione di una funzione numerica, chiamata variabile regionalizzata, che si suppone rappresenti in modo adeguato il fenomeno.

Nello studio dei dati ottenuti in vigneto si è quindi cercato di ottenere un variogramma attraverso il kriging.

Interpolazione Kriging

Il Kriging si basa sulla definizione di un modello capace di stimare la varianza della variabile al variare della distanza dai punti di campionamento. La geostatistica si basa su un'ipotesi di stazionarietà: le caratteristiche della funzione modellata rimangono invariate all'interno della regione di interesse.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

Semivarianza a distanza **h**
N coppie di punti separate dalla stessa distanza (Lag)
Variabile considerata in posizione x (Tessitura, Resa, NDVI)

Nella figura 2.10 sono riportati a titolo esplicativo le variabili su cui si basa l'interpolazione kriging.

- **Il nugget:** il quale rappresenta la varianza non spazialmente dipendente e dovuta ad errori casuali, sistematici o a causa della risoluzione del sensore;
- **Il sill:** approssima la varianza o semi-varianza campionaria, per cui i campioni separati da una distanza maggiore del range possono considerarsi spazialmente non correlati;
- **Il range:** distanza per cui due campioni si possono considerare spazialmente non correlati.

Il modello riportato in figura 2.10 è quello "più comune", ma la funzione può assumere anche forme: lineari, sferiche, gaussiane, esponenziali o di potenza.

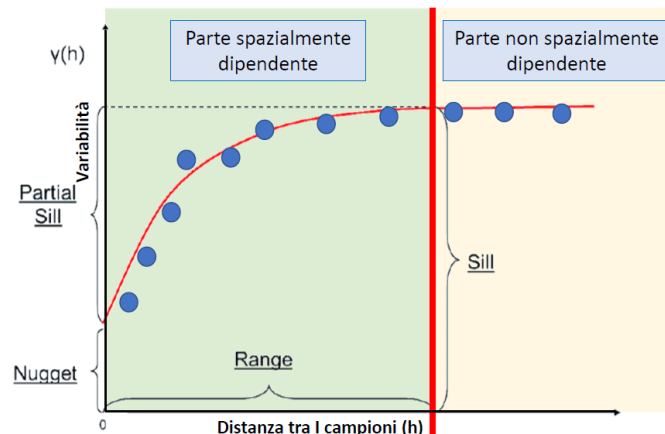


Figure 1.10 Esempio esplicativo variogramma

I vantaggi del kriging sono:

- Il valore ottenuto è il più preciso in base ai dati di campionamento inseriti
- Il kriging è un interpolatore esatto (a differenza di una interpolazione polinomiale)
- Insieme al valore interpolato viene restituito in intervallo di confidenza
- La varianza dei valori interpolati dipende solo dai parametri del semivariogramma e dalla posizione dei valori da stimati e non direttamente dai valori campionati
- Solo i campioni più vicini influenzano la stima oltre una certa distanza (i punti campionati sono ininfluenti).

Per interpolare i dati raccolti in vigneto è stato utilizzato un programma geostatistico chiamato Vesper. Del quale riportiamo l'interfaccia nella figura sottostante.

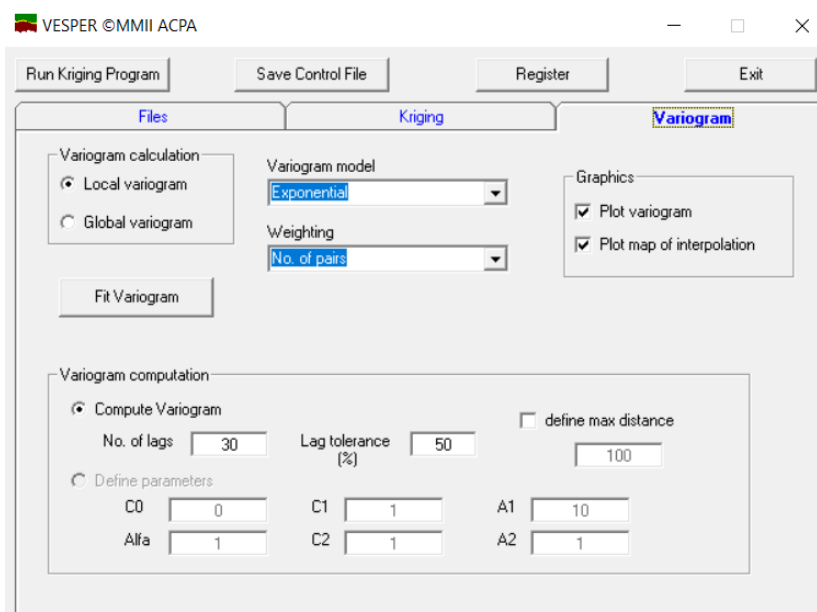


Figure 1.11 interfaccia vesper

Per la descrizione della variabilità spaziale, possiamo usare il semivariogramma da solo, nel suo insieme, o integrare il semivariogramma con un singolo indice di dipendenza spaziale. (Seidel & de Oliveira, 2016)

Il primo indice tradizionale, concettualizzato da Trangmar et al. (1985) e trovato in Cambardella et al. (1994), che esprime il relativo effetto nugget (NE), è dato dall'espressione:

$$NE(\%) = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \times 100$$

in cui C0 è l'effetto nugget e C1 è il contributo, entrambi i parametri del semivariogramma. Secondo Cambardella et al. (1994), NE ha la seguente classificazione:

- forte dipendenza spaziale (NE (%) 25 %),
- moderata dipendenza spaziale (25 % < NE (%) 75%),
- debole dipendenza spaziale (NE (%) 75%).

Questa categorizzazione sembra ispirata al concetto di quartile statistico perché Cambardella et al. (1994) non hanno utilizzato alcuna analisi di dati reali per giungere a questa classificazione.

Seidel and Silva De Oliveira (2014) hanno proposto l'indice di dipendenza spaziale (SDI). Oltre a considerare il contributo, del nugget, del sill, questo indice considera anche il parametro range, il fattore modello (che riflette la forma specifica della curva corretta), e la distanza massima tra i punti campionati.

L'indice di dipendenza spaziale (SDI), proposto da Seidel e Oliveira (2014), è dato dalle seguenti espressioni per i modelli sferici e gaussiani, rispettivamente:

$$SDI_{Spherical}(\%) = 0.375 \times \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \times \left(\frac{a}{0.5MD} \right) \times 100$$

$$SDI_{Gaussian}(\%) = 0.504 \times \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \times \left(\frac{a}{0.5MD} \right) \times 100$$

in cui C_0 è l'effetto nugget, C_1 è il contributo, e a è il range, e $0.5MD$ è la metà della distanza massima (MD) tra i punti campionati.

Oltre ai 3 modelli qui sopra descritti nello studio condotto sul vigneto in questione è stato utilizzato anche il modello di variogramma denominato Ste (matern, M. Stein's Parameterization). Il modello Ste ha una grande flessibilità per la modellazione della covarianza spaziale, e può modellare molti processi spaziali locali. (Minasny & McBratney, 2005) Pertanto, nel nostro caso è risultato estremamente adatto per valutare la variabilità spaziale dei fattori oggetto di studio.

La funzione isotropica del modello è quella sotto riportata:

$$F(h) = \frac{1}{2^{v-1} \Gamma(v)} \left(\frac{h}{r} \right)^v K_v \left(\frac{h}{r} \right)$$

(Minasny & McBratney, 2005)

Categorizzazione dell'indice di dipendenza spaziale (SDI) proposto da Seidel e Oliveira (2014) per consentire la classificazione della variabilità spaziale in termini di dipendenza debole, moderata e forte.

Per il semivariogramma sferico:

- SDISpherical (%) 7 % debole dipendenza spaziale;
- 7 % < SDISpherical (%) 15 % moderata dipendenza spaziale;
- SDISpherical (%) > 15 % forte dipendenza spaziale.

Per il semivariogramma gaussiano e il modello Ste:

- SDIGaussian/Ste (%) 9 % debole dipendenza spaziale;
- 9 % < SDIGaussian/Ste (%) 20 % moderata dipendenza spaziale;
- SDIGaussian/Ste (%) > 20 % forte dipendenza spaziale.

(Seidel & de Oliveira, 2016)

1.4 Obiettivi dello studio

Visto le molteplici possibilità di applicazione della viticoltura di precisione precedentemente descritte, l'analisi della variabilità che sia essa spaziale, colturale o gestionale; assume un'importanza tutt'altro che secondaria.

L'obiettivo di questa tesi è quello di identificare le caratteristiche analitiche della variabilità spaziale dei sintomi della peronospora della vite. Vista l'importanza di questa patologia, esposta nei paragrafi precedenti, lo studio della diffusione spaziale dei sintomi di questa patologia può portare allo sviluppo di DSS spazialmente accurati e non solo relativi alla posizione in cui sono rilevati i dati microclimatici necessari per il calcolo del rischio di infezione.

Attualmente la maggior parte dei sistemi di supporto alle decisioni, base i propri modelli sulla statistica "classica" e quindi effettua alcune semplificazioni in merito alla complessità dei vari fenomeni.

Lo scopo dell'analisi dei vari fattori presi in considerazione come: n° di grappoli, n° di foglie e dell'indice di McKinney è volta alla ricerca di strutture di variabilità che possano permettere un'applicazione più efficace delle varie tecniche di agricoltura di precisione; siano queste basate su DSS o altre applicazioni possibili, come ad esempio l'applicazione a rateo variabile dei prodotti fitosanitari. Il tutto in un'ottica di aumento della sostenibilità economica ed ambientale di tutte le operazioni che vengono effettuate in viticoltura.

2 Materiali e metodi

2.1 Caratterizzazione del sito sperimentale

La sperimentazione è stata condotta presso l'azienda "Cescon Giuseppe e Antonella Società Semplice Agricola" di Chiarano, Treviso. L'azienda lavora un totale di 50 ettari di vigneto non irriguo con varietà di Glera, Pinot Grigio, Pinot Bianco, Chardonnay, Merlot e Raboso. La forma di allevamento prevalente è quella a Sylvoz utilizzata per gli impianti recenti, mentre per i vecchi impianti è a Guyot. La lotta integrata è la pratica di difesa utilizzata.



Figure 2.1 Vigneto oggetto dello studio

Come si può vedere dalla figura 2.2 il vigneto ricade:

- In un'area con suoli di aree depresse della pianura alluvionale di origine fluvioglaciale, formati da argille e limi, i quali sono da fortemente a estremamente calcarei.
- Nello specifico il vigneto in funzione alla carta dei suoli di regione Vento ricade in una zona con terreno che dovrebbe essere argilloso-limoso.

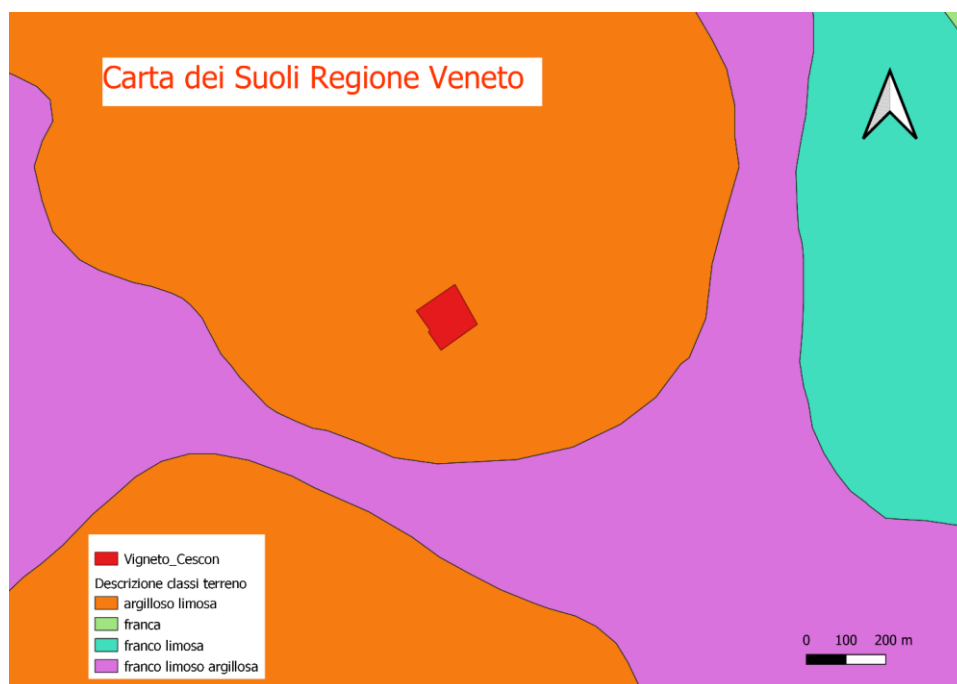


Figure 2.2 Carta dei suoli regione Veneto

2.2 Campionamento

Per la raccolta dei dati è stata valutata la presenza di peronospora ed oidio in funzione della loro severità su foglie e grappoli in ciascuna tesi sono stati ricavati due transetti composti da otto viti contigue campionando sei viti tra queste otto. I danni da peronospora ed oidio presenti sono stati valutati campionando tutte le foglie e tutti i grappoli del tralcio verticale posizionato tra la terza e la quinta gemma.

In totale sono stati presi in considerazione 32 punti di campionamento ognuno di questi analizzato ripetutamente in quattro date diverse, riportate in tabella 2.1

Data rilievo	Codice	Stadio fenologico
01 Giugno	57	Infiorescenze pienamente visibili
18 Giugno	73	Acini delle dimensioni di un granello di pepe
06 Luglio	77	Chiusura grappolo
20 Luglio	81	Inizio invaiatura

Tabella 2.1 Date rilievi

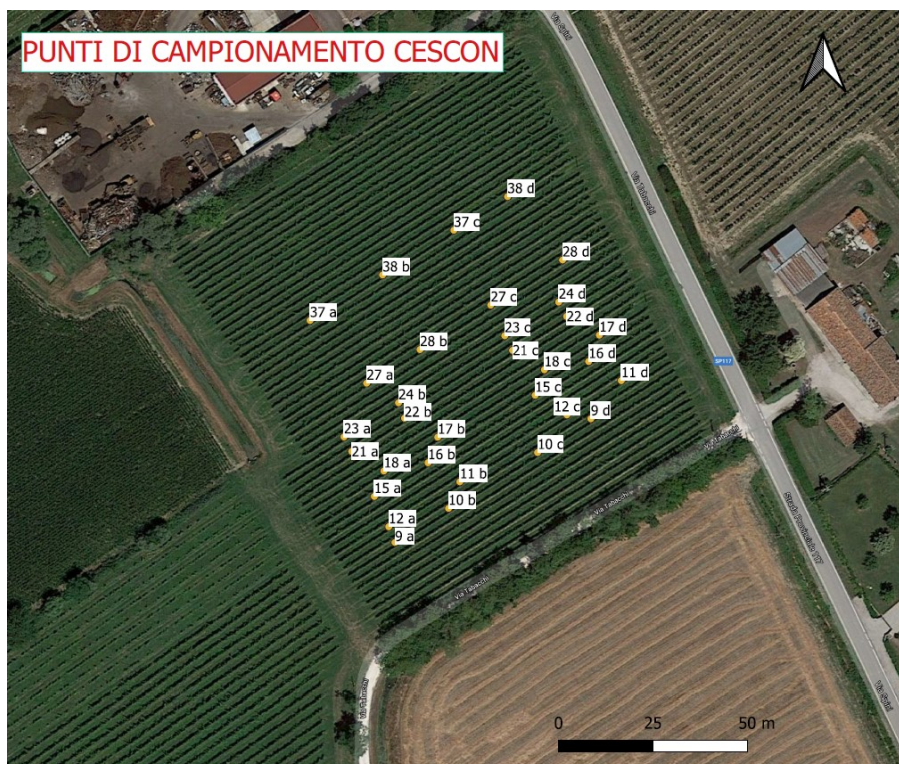


Figure 2.3 punti di campionamento

L'andamento climatico a livello aziendale rilevato dalla centralina meteorologica situata in prossimità del sito sperimentale ha registrato un andamento simile a quello rilasciato dal consorzio fitosanitario Treviso-Vicenza-Belluno.

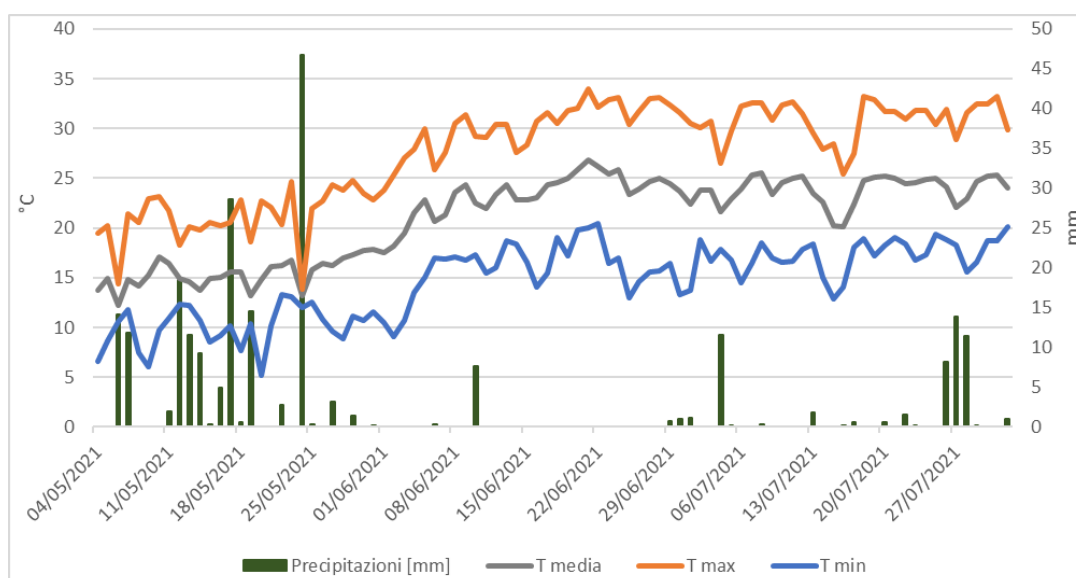


Figure 2.4 Andamento climatico rilevato dalla centralina aziendale durante il periodo di studio.

La valutazione dei danni da peronospora ed oidio è avvenuta basandosi su una scala di danno da 0 a 7, come raffigurato in figura 2.5 e 2.6.

Ad ogni rilievo sono state monitorate tutte le foglie e tutti i grappoli del tralcio campionato senza considerare le porzioni di organo disseccate per cause abiotiche prive di sintomatologia riconducibile al patogeno monitorato. Ad ogni foglia e grappolo è stato attribuito un punteggio convertito in un indice di McKinney. (MCKINNEY, 1923)

Per la stima del danno veniva utilizzato l'indice di McKinney I il quale permette di linearizzare stime effettuate visivamente. La formula è:

$$I = \frac{\Sigma(i * f)}{n}$$

In cui:

- i : intensità, severità del danno;
- f : frequenza, n° di individui o organi per ogni classe di intensità;
- n : numero totale di individui o organi.

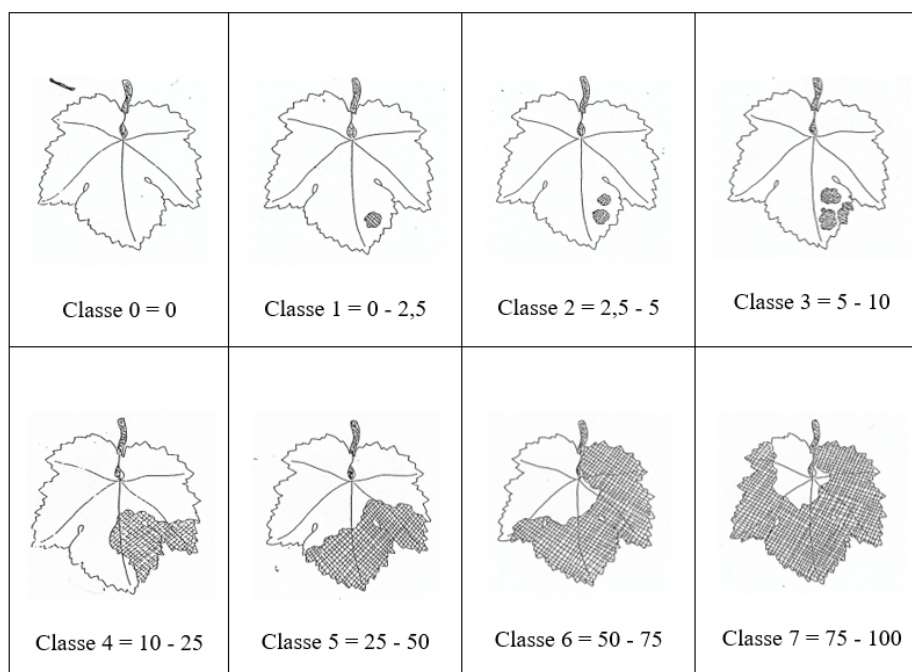


Figure 2.5 Standard di riferimento per la quantificazione di peronospora su foglia






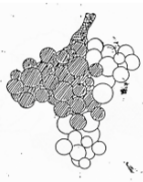


			
0 = sano	1 = con 1 - 2 acini colpiti	2 = con più acini colpiti o 1 - 2 isolati	3 = un'ala o altra parte consistente colpita
			
4 = colpito fino ad un quarto del grappolo	5 = colpito fino a metà	6 = colpito fino a tre quarti	7 = colpito quasi totalmente

Figure 2.6 Standard di riferimento per quantificazione peronospora su grappolo

Classi		McKinney Lx
		f
0	0	0
1	0 - 2.5	1.25
2	2.5 - 5	3.75
3	5 - 10	7.5
4	10 - 25	17.5
5	25 - 50	37.5
6	50 - 75	62.5
7	75 - 100	87.5

Tabella 2.2 Classi di danno utilizzate per la stima

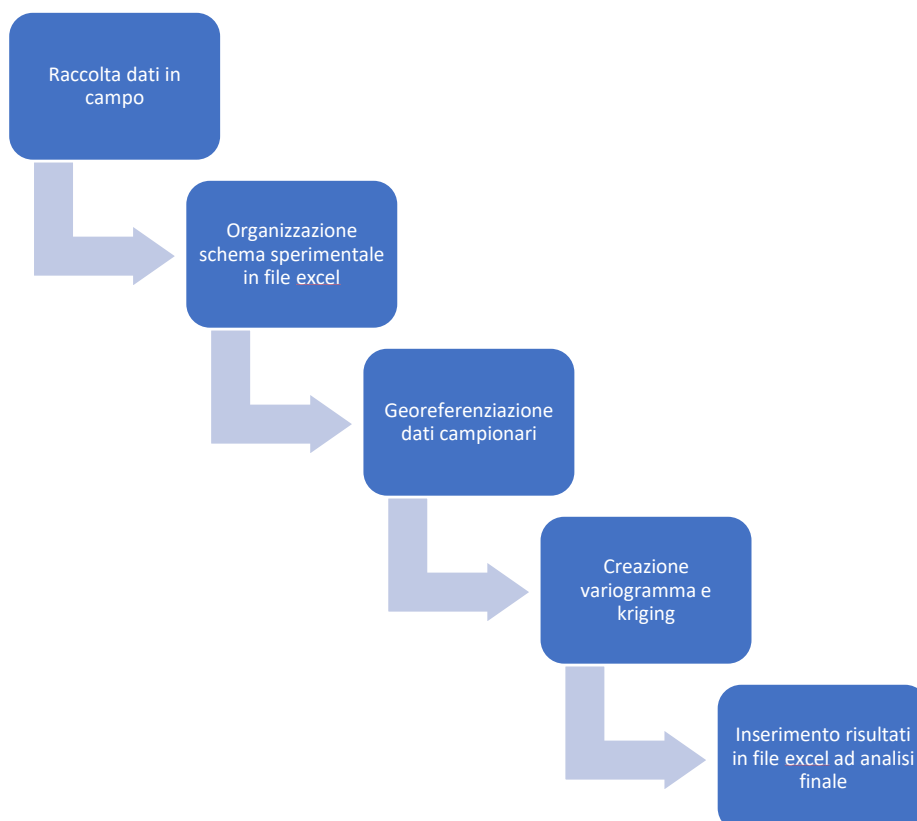
Nelle tabelle di seguenti sono riportati i dati, divisi per variabile analizzata, presi in considerazione per l'analisi geostatistica.

2.3 Metodo di analisi

2.3.1 Metodologia

I dati raccolti data per data sono stati inseriti all'interno di file excel riepilogativi di tutte le variabili analizzate. In seguito, ogni punto di campionamento rilevato è stato georeferenziato e successivamente si è provveduto alla creazione di un file csv in cui ogni dato raccolto è stato associato alle relative coordinate. Grazie a questo procedimento i dati suddivisi per variabili sono stati processati con programmi geostatistici, quali: nella prima fase il programma denominato vesper, e successivamente utilizzando il pacchetto automap di R studio. Questi software ci hanno permesso di ottenere i variogrammi, i valori caratteristici di ogni grafico e le relative mappe di variabilità suddivise per singole date e singole variabili.

Attraverso l'interpolazione si è cercato di determinare il valore delle variabili partendo da un numero di limitato di misurazioni. Successivamente, tutti i risultati sono stati inseriti in un ultimo foglio di calcolo, attraverso il quale sono stati prodotti i grafici relativi agli andamenti dei vari indici caratteristici.



3 Risultati e discussione

3.1 Analisi dei dati

Qui di seguito verranno riportati tutti i grafici prodotti ed i relativi valori caratteristici.

I dati verranno analizzati andando a prendere in considerazione gli indici precedentemente descritti quali NE e SDI. Oltre a questi si valuterà la variabilità temporale dei valori caratteristici di un variogramma sperimentale, quali: nugget, sill e range.

01/06/2021 n° Foglie

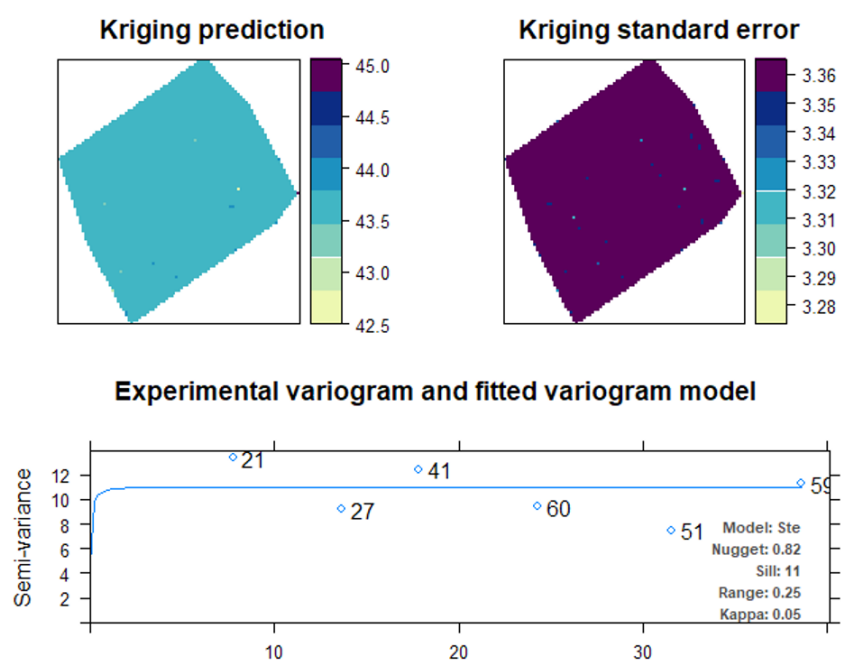


Figure 3.1 Risultati analisi n° foglie 01/06/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
n°foglie	0.82	11.0	6.90	0.05	ste	7%	3%

Tabella 3.1 Riepilogo risultati n° foglie 01/06/2021

18/06/2021 n° Foglie

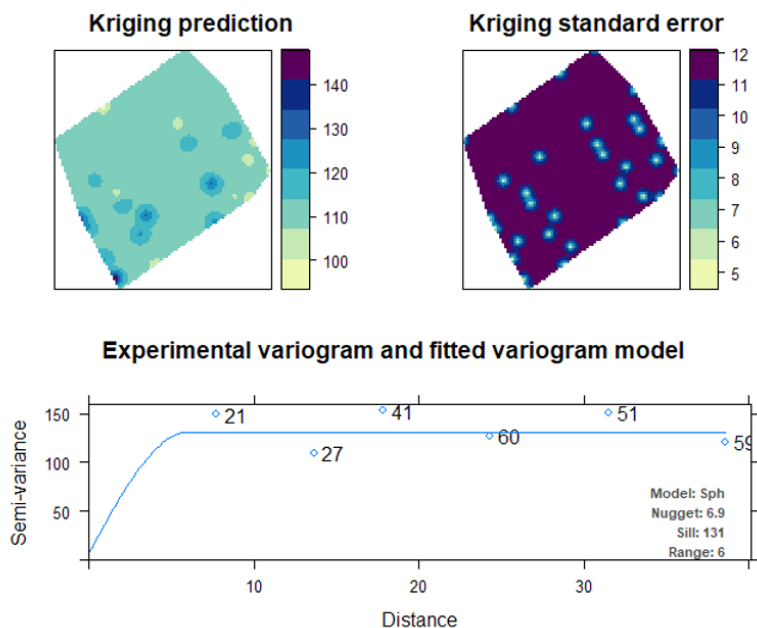


Figure 3.2 Risultati analisi n° foglie 18/06/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
n°foglie	6.90	131	6.00		sph	5%	4%

Tabella 3.2 Riepilogo risultati n° foglie 18/06/2021

06/07/2021 n° Foglie

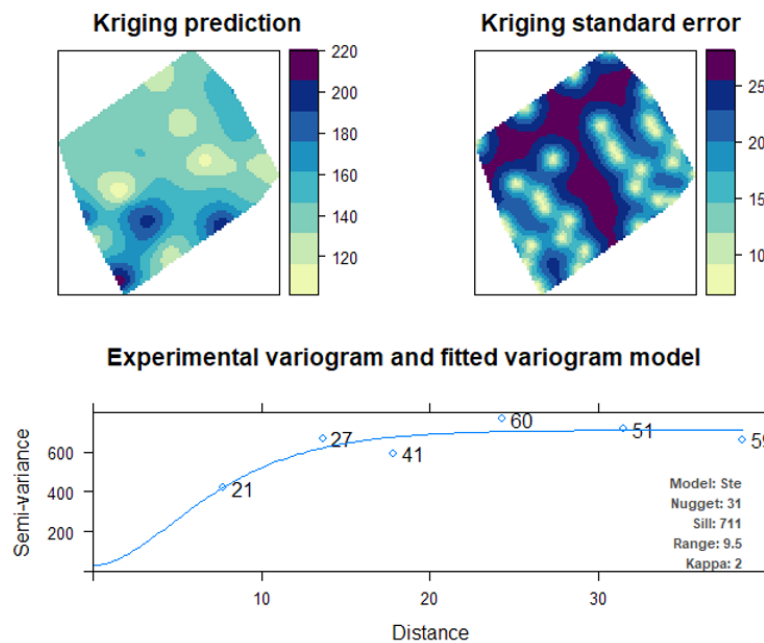


Figure 3.3 Risultati analisi n° foglie 06/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
n°foglie	31.0	711	9.50	2.00	ste	4%	5%

Tabella 3.3 Riepilogo risultati n° foglie 06/07/2021

26/07/2021 n° Foglie

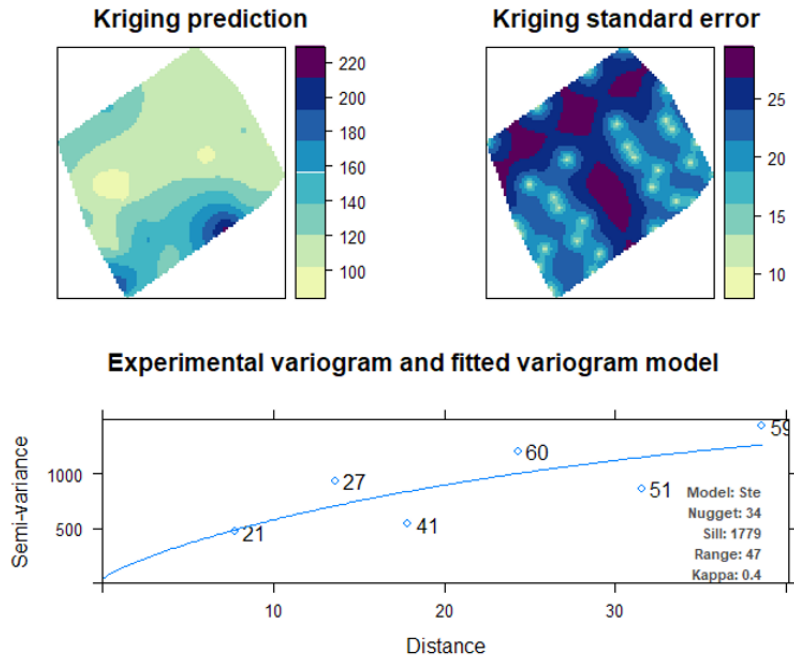


Figure 3.4 Risultati analisi n° foglie 26/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
n° foglie	34.0	1779	47.0	0.10	ste	2%	23%

Tabella 3.4 Riepilogo risultati n° foglie 26/07/2021

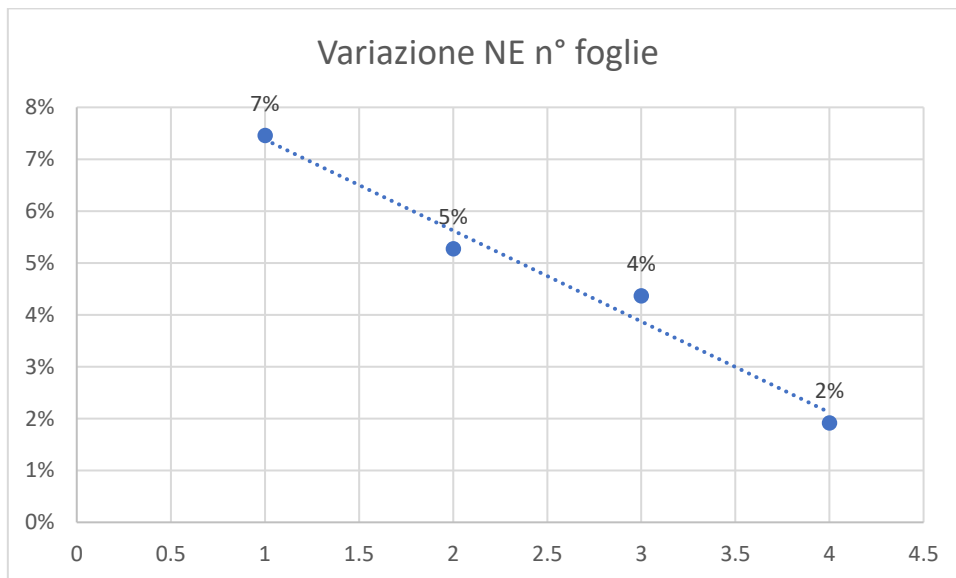


Figure 3.5 Variazione NE n° foglie

Come possiamo vedere dal grafico contenuto all'interno della figura 3.5 l'andamento dell'NE durante la stagione risulta decrescente questo significa che il delta tra un punto ed un altro

aumenta nel corso della stagione. Riducendosi il rapporto percentuale tra nugget e sill, significa che i dati raccolti hanno una forte dipendenza spaziale ed una variabilità che “si struttura” durante la stagione.

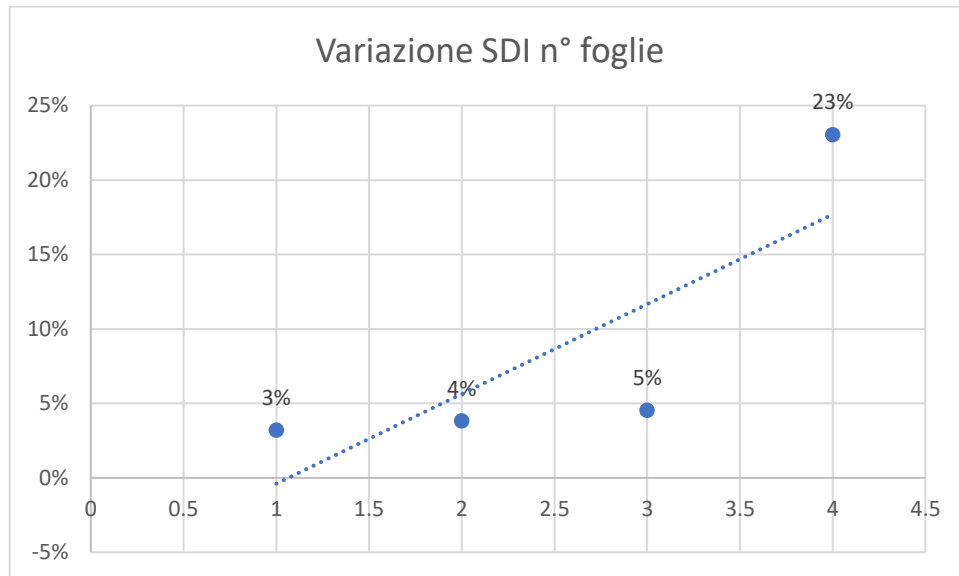


Figure 3.6 Variazione SDI n° foglie

A differenza dell'NE l'SDI è influenzato dal range e quindi possiamo comunque vedere un aumento della dipendenza spaziale, ma non così ben definito come con gli altri indici.

Infine, per quanto riguarda il range non possiamo trarre delle conclusioni definitive poiché anche questo valore è estremamente condizionato dal modello utilizzato e perciò i risultati non possono essere confrontati l'un l'altro.

01/06/2021 McKinney index Foglie

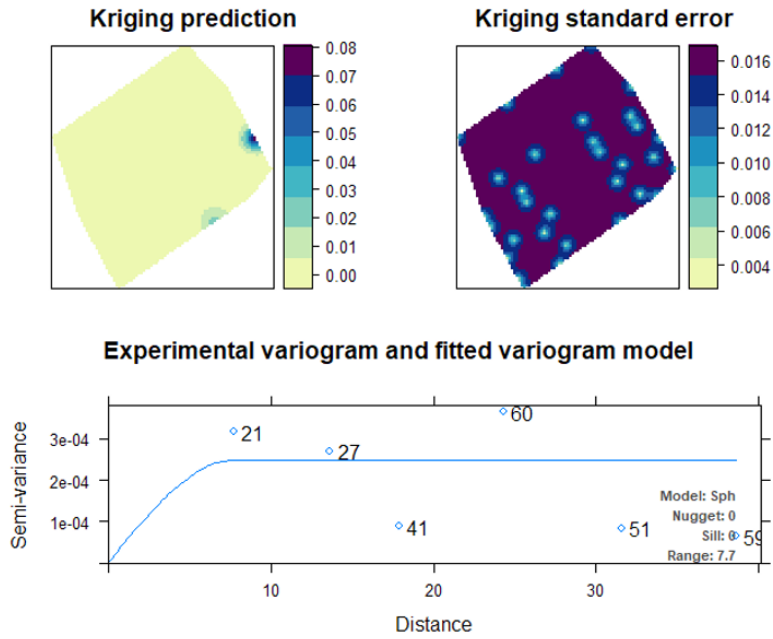


Figure 3.7 Risultati analisi McKinney Index 01/06/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
Mckinney index foglie	0.00	2.50*e-04	7.70		sph	30%	4%

Tabella 3.5 Riepilogo risultati McKinney Index 01/06/2021

18/06/2021 McKinney index Foglie

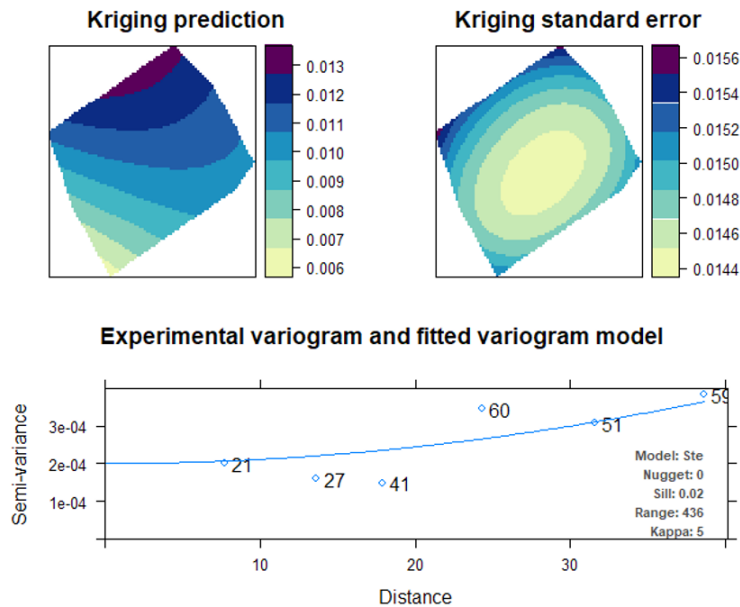


Figure 3.8 Risultati analisi McKinney Index 18/06/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
Mckinney index foglie	2.00*e-03	0.02	436	5.00	ste	10%	34%

Tabella 3.6 Riepilogo risultati McKinney Index 18/06/2021

06/07/2021 McKinney Foglie

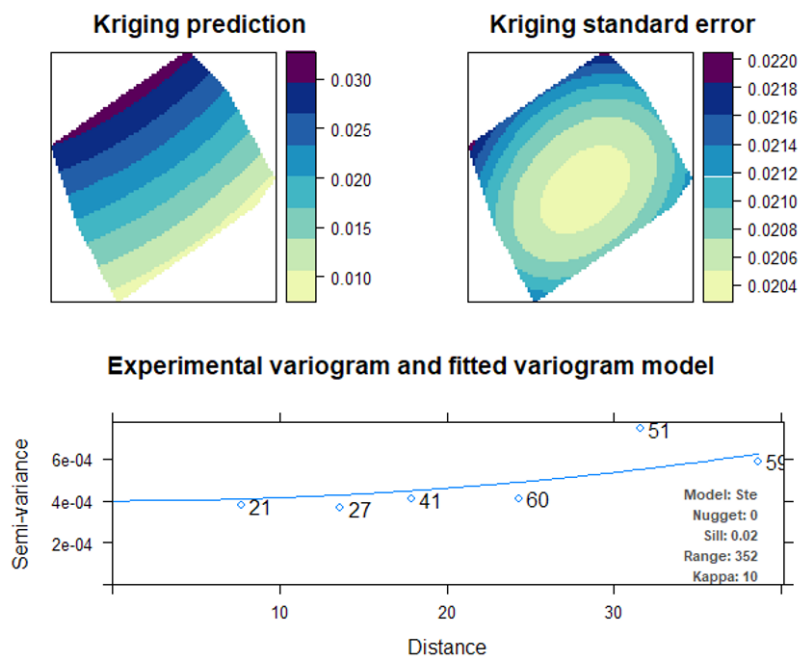


Figure 3.9 Risultati analisi McKinney Index 06/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
Mckinney index foglie	4.00*e-04	0.02	352	10.0	ste	2%	37%

Tabella 3.7 Riepilogo risultati McKinney Index 06/07/2021

26/07/2021 McKinney Foglie

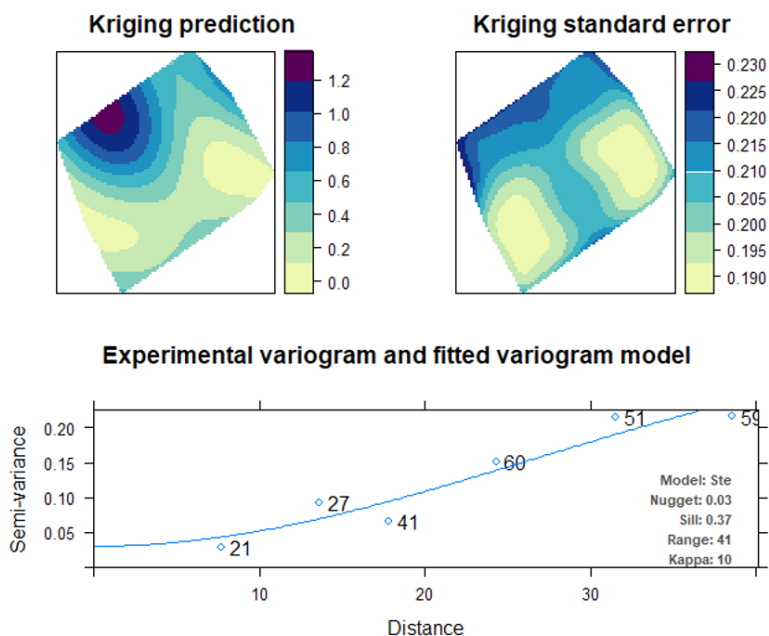


Figure 3.10 Risultati analisi McKinney Index 26/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
Mckinney index foglie	0.03	0.37	41.0	10.0	ste	8%	19%

Tabella 3.8 Riepilogo risultati McKinney Index 26/07/2021

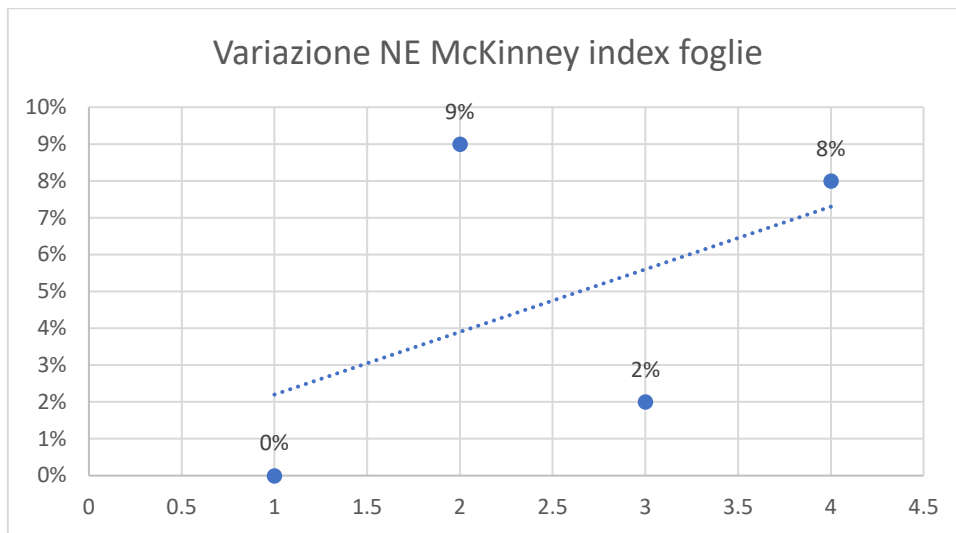


Figure 3.11 Variazione NE McKinney index foglie

A differenza del numero di foglie l'andamento dell'NE per quanto riguarda l'indice McKinney calcolato sulle foglie non ha un andamento ben definito. Difatti sia il nugget che il sill assumono valori variabili durante tutta la stagione e quindi non possiamo affermare che la variabilità si strutturi. I valori di NE sono comunque molto bassi, perciò, anche questo indice ha una forte dipendenza spaziale. Ma probabilmente la scala utilizzata per il campionamento non ci permette di cogliere non precisione la struttura di questa variabile.

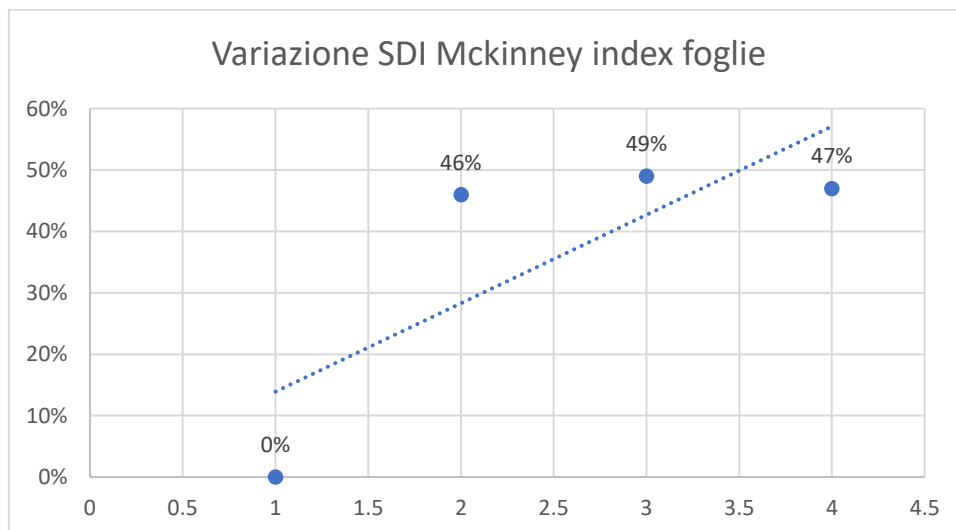


Figure 3.12 Variazione SDI McKinney index foglie

Avendo l'SDI un andamento analogo all'NE possiamo riaffermare quanto detto sopra, aggiungendo che per entrambi gli indici il primo valore è pari a 0 perché il nugget calcolato in data 01/06 risultata pari a 0 e di conseguenza anche i due indici precedentemente citati.

01/06/2021 n° Grappoli

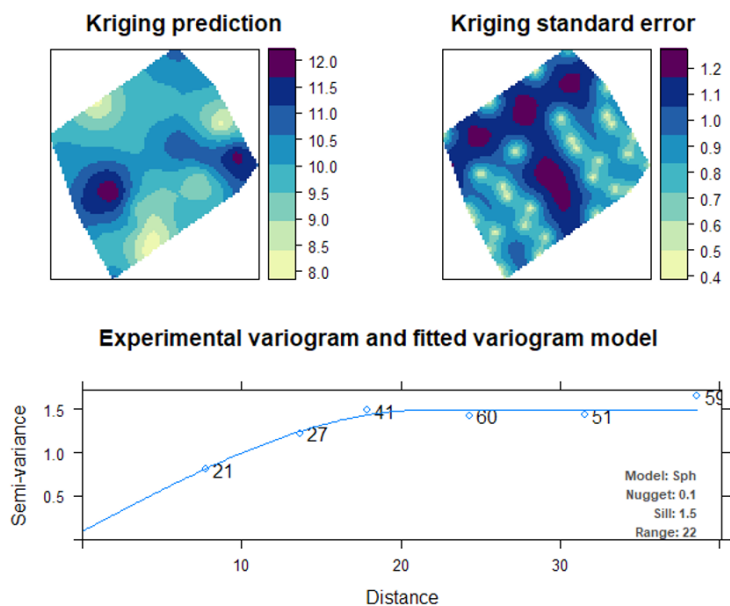


Figure 3.13 Risultati n° grappoli 01/06/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
n° grappoli	0.09	1.50	22.0		sph	6%	14%

Tabella 3.9 Riepilogo risultati n° grappoli 01/06/2021

18/06/2021 n° Grappoli

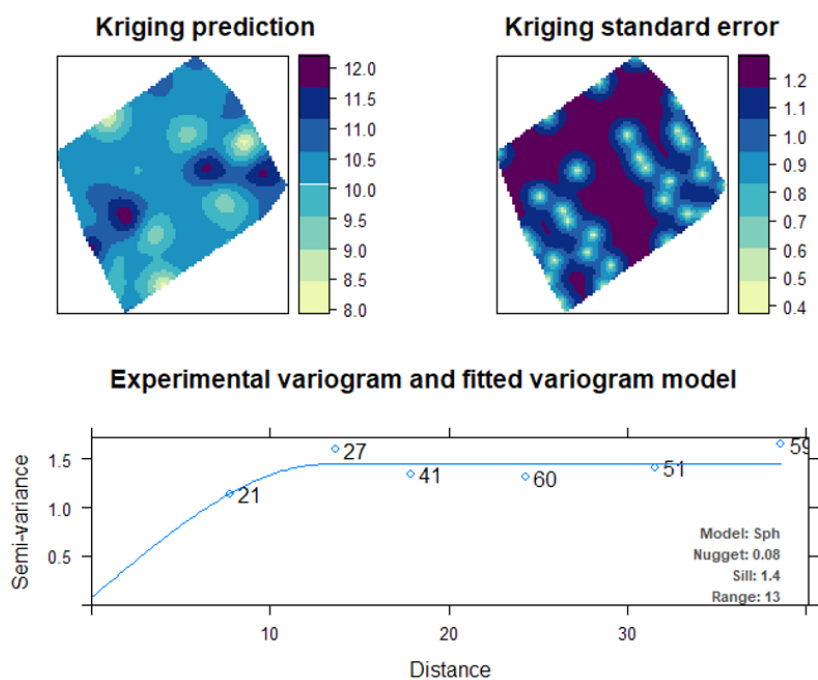


Figure 3.14 Risultati analisi n° grappoli 18/06/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
n° grappoli	0.07	1.40	13.0		sph	6%	8%

Tabella 3.10 Riepilogo risultati n° grappoli 18/06/2021

06/07/2021 n° Grappoli

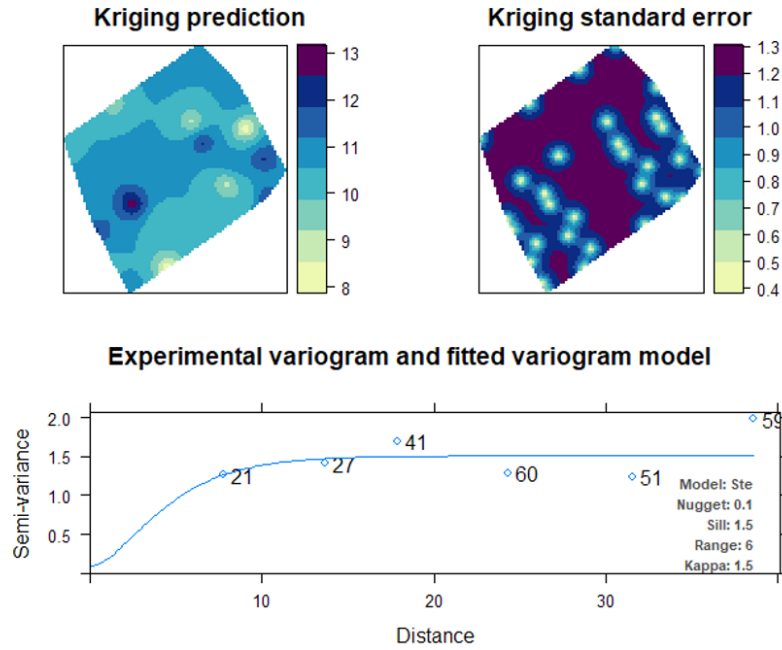


Figure 3.15 Risultati analisi n° grappoli 06/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	Kappa	modello	NE	SDI
n° grappoli	0.09	1.50	6.00	1.50	ste	6%	3%

Tabella 3.11 Riepilogo risultati n° grappoli 06/07/2021

26/07/2021 n° Grappoli

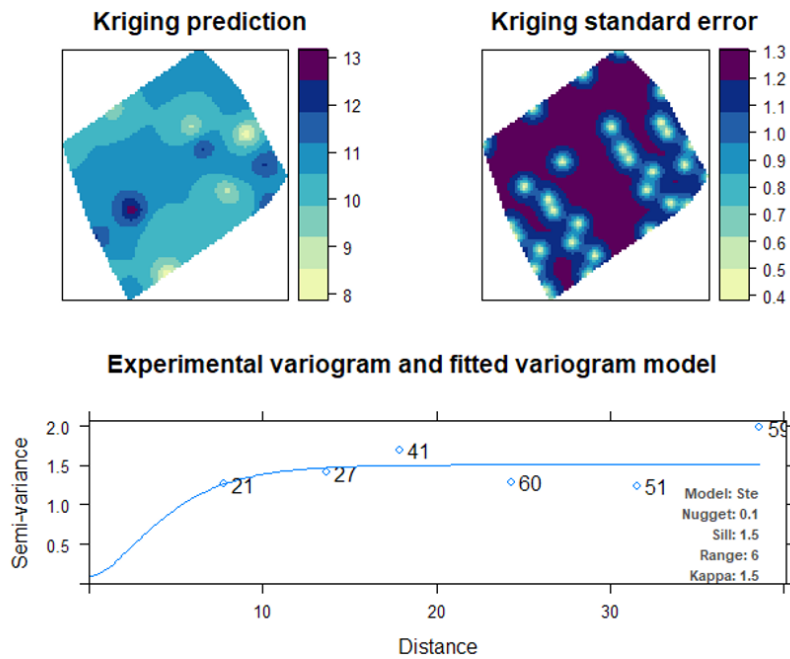


Figure 3.16 Risultati analisi n° grappoli 26/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
n° grappoli	0.09	1.50	6.00	1.50	ste	7%	3%

Tabella 3.12 Riepilogo risultati n° grappoli 26/07/2021

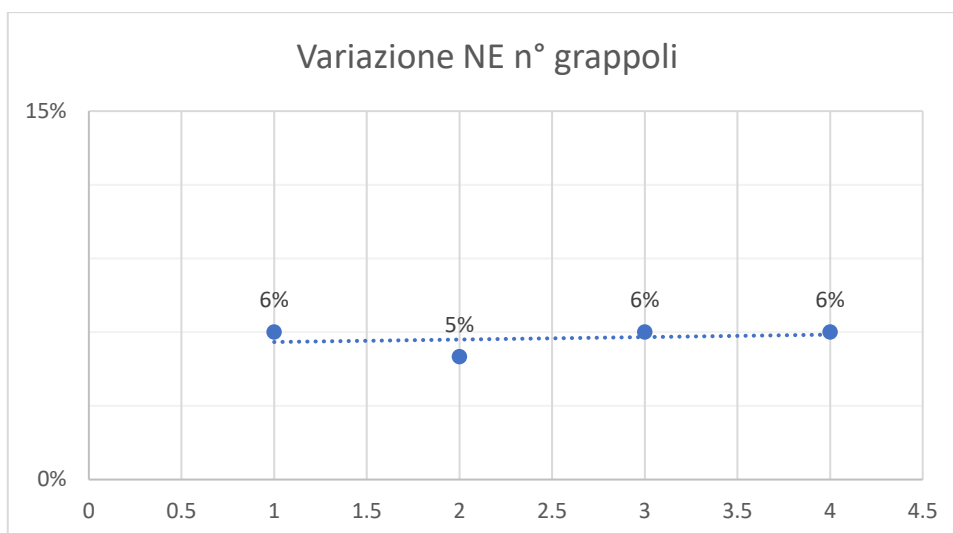


Figure 3.17 Variazione NE n° grappoli

Per quanto riguarda l'analisi della variabilità spaziale del n° di grappoli possiamo affermare di aver una situazione pressoché costante durante tutta la stagione. L'NE rimane comunque al di sotto del 25% e perciò anche il numero di grappoli risulta estremamente dipendente dalla variabile spaziale. Ma a differenza delle variabili precedentemente analizzate sembra che la struttura della variabilità assunta all'inizio della stagione venga mantenuta fino alla fine.

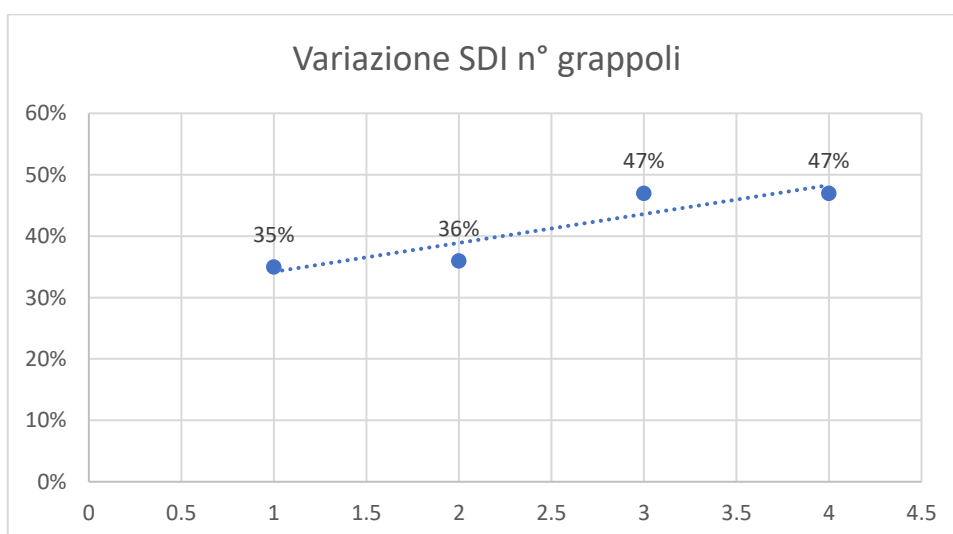


Figure 3.18 Variazione SDI n° grappoli

Come per l'Ne anche l'SDI mantiene un trend pressoché costante durante tutta la stagione anche se rispetto all'NE sembra andare a definire una maggior dipendenza spaziale verso la fine della stagione. Come per i precedenti casi, avendo utilizzato modelli differenti per meglio rappresentare le variabili, il range non risulta essere un valore confrontabile.

01/06/2021 McKinney index Grappoli

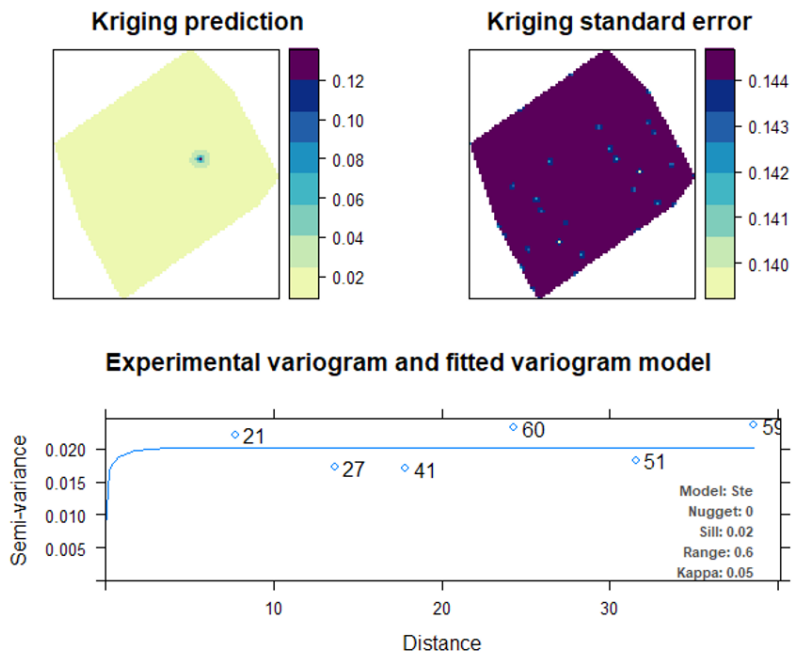


Figure 3.19 Risultati analisi McKinney Index 01/06/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
Mckinney index grappoli	1.10*e-03	0.02	0.60	0.05	ste	6%	0%

Tabella 3.13 Riepilogo risultati McKinney Index 01/06/2021

18/06/2021 McKinney index Grappoli

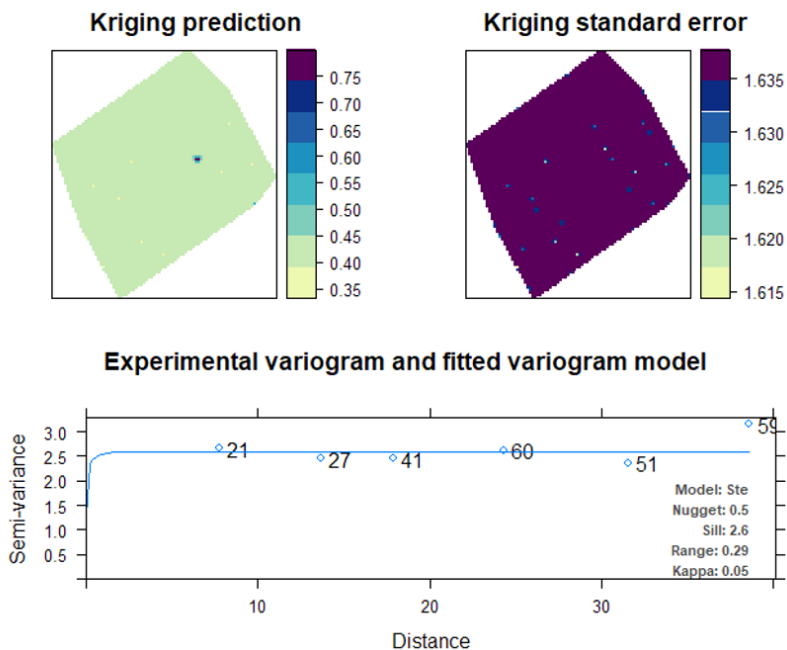


Figure 3.20 Risultati analisi McKinney Index 18/06/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
Mckinney index grappoli	0.50	2.60	0.29	0.05	ste	19%	0%

Tabella 3.14 Riepilogo risultati McKinney Index 18/06/2021

06/07/2021 McKinney index Grappoli

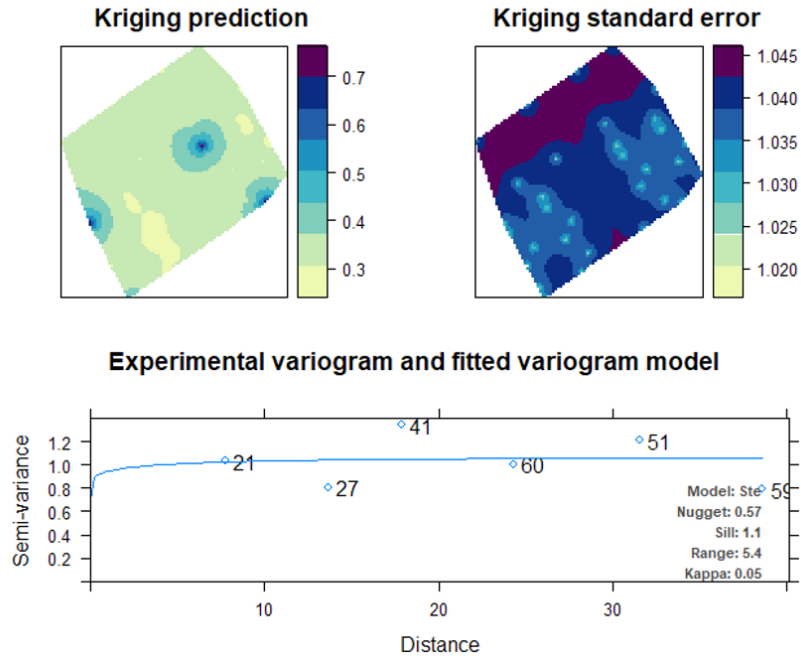


Figure 3.21 Risultati analisi McKinney Index 06/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
Mckinney index grappoli	0.57	1.10	5.40	0.05	ste	52%	1%

Tabella 3.15 Riepilogo risultati McKinney Index 06/07/2021

26/07/2021 McKinney index Grappoli

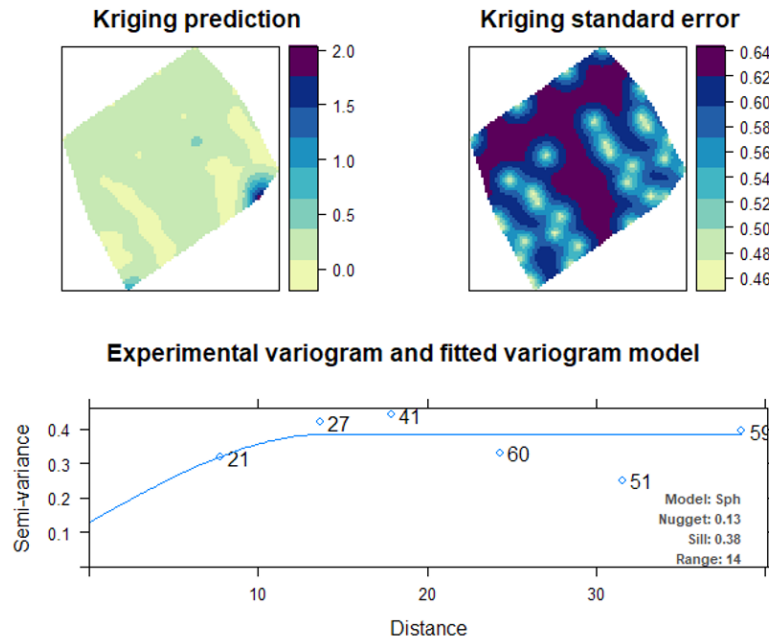


Figure 3.22 Risultati analisi McKinney Index 26/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
Mckinney index grappoli	0.13	0.38	14.00		sph	34%	6%

Tabella 3.16 Riepilogo risultati McKinney Index 26/07/2021

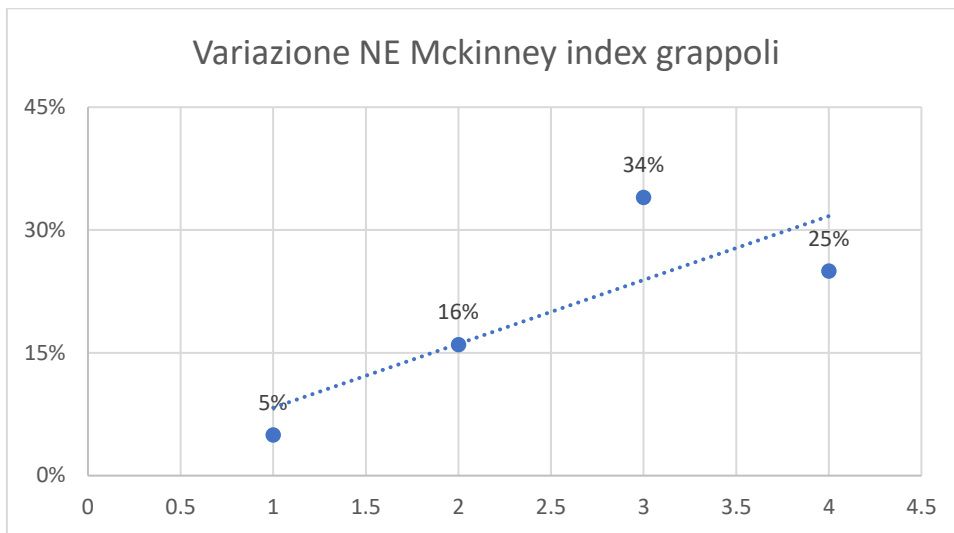


Figure 3.23 Variazione NE McKinney index grappoli

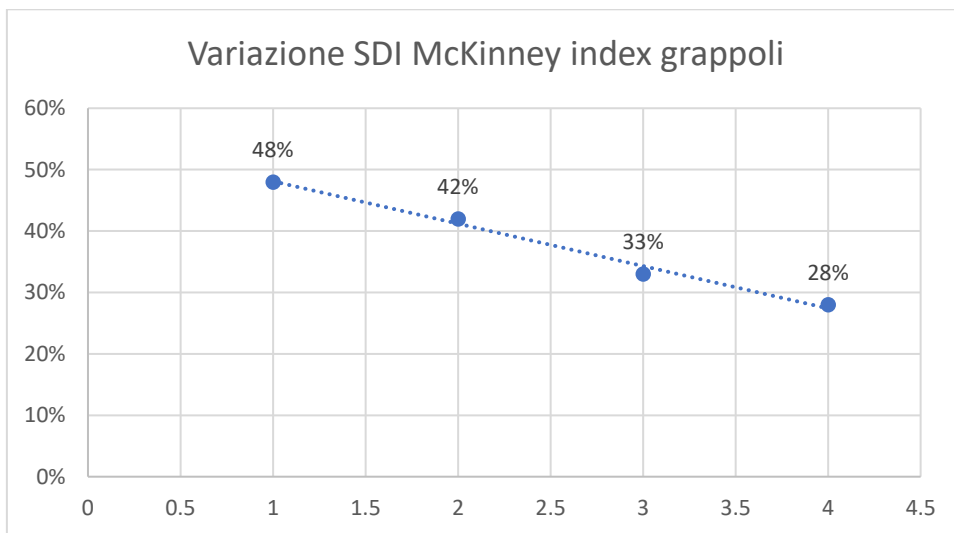


Figure 3.24 Variazione SDI McKinney index grappoli

L'andamento dell'NE è costante ed in aumento durante tutta la stagione, si parte quindi con una forte dipendenza spaziale per poi arrivare verso la fine con una media dipendenza spaziale. Questo in quanto i delta tra i vari punti campionari vanno a ridursi durante l'avanzare della stagione. L'SDI nel caso del McKinney index calcolato sui sintomi relativi alla peronospora analizzata sui grappoli ha un andamento decrescente e quindi avvalorava maggiormente quanto precedentemente detto nel caso dell'NE in termini di dipendenza spaziale. La struttura spaziale presente all'inizio della stagione va ad essere "meno marcata" nella data dell'ultimo campionamento. Nel caso dell'odio avendo un campionamento solo nell'ultima data non è possibile effettuare un'analisi in merito alla variabilità temporale. Mentre per quanto riguarda la

variabilità spaziale l'effetto nugget è molto grande e quindi i dati calcolati non risultano molto interessanti per questa tesi.

26/07/2021 McKinney index Oidio Grappoli

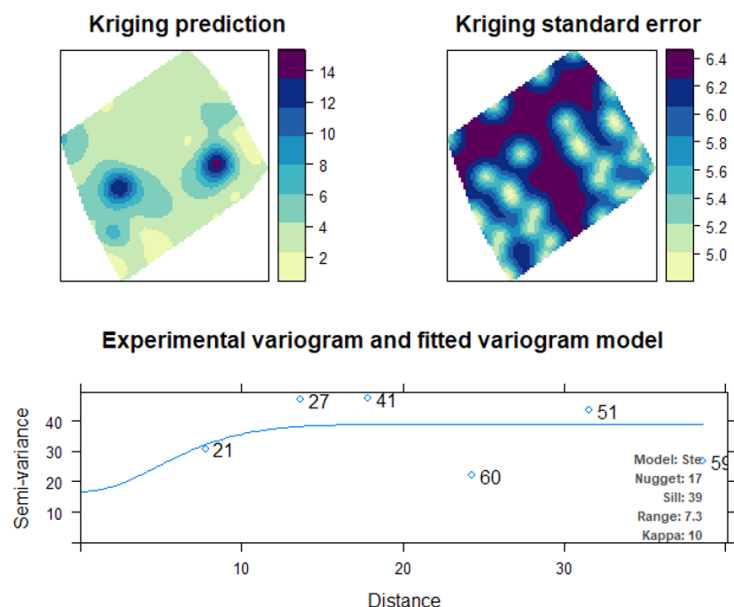


Figure 3.25 Risultati analisi McKinney Index oidio 26/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
Mckinney index OIDIO	16.7	39.0	7.30	10.0	ste	43%	2%

Tabella 3.17 Riepilogo risultati McKinney Index oidio 26/07/2021

Variogramma	nugget	sill	range	kappa	modello	NE	SDI
n°foglie 01/06/2021	0.82	11.0	6.90	0.05	ste	7%	3%
n°foglie 18/06/2021	6.90	131	6.00		sph	5%	4%
n°foglie 06/07/2021	31.0	711	9.50	2.00	ste	4%	5%
n°foglie 26/07/2022	34.0	1779	47.0	0.10	ste	2%	23%
Mckinney index foglie 01/06/2021	0.0000	2.50*e-04	7.70		sph	30%	4%
Mckinney index foglie 18/06/2021	2.00*e-03	0.02	436	5.00	ste	10%	34%
Mckinney index foglie 06/07/2021	4.00*e-04	0.02	352	10.0	ste	2%	37%
Mckinney index foglie 26/07/2022	0.03	0.37	41.0	10.0	ste	8%	19%
N°grappoli 01/06/2021	0.09	1.50	22.0		sph	6%	14%
n°grappoli 18/06/2021	0.07	1.40	13.0		sph	6%	8%
n°grappoli 06/07/2021	0.09	1.50	6.00	1.50	ste	6%	3%
n°grappoli 26/07/2022	0.09	1.50	6.00	1.50	ste	7%	3%
Mckinney index grappoli 01/06/2021	1.10*e-03	0.02	0.60	0.05	ste	6%	0%
Mckinney index grappoli 18/06/2021	0.50	2.60	0.29	0.05	ste	19%	0%
Mckinney index grappoli 06/07/2021	0.57	1.10	5.40	0.05	ste	52%	1%
Mckinney index grappoli 26/07/2022	0.13	0.38	14.0		sph	34%	6%
Mckinney index OIDIO 26/07/2022	16.7	39.0	7.30	10.0	ste	43%	2%

Tabella 3.18 Riassunto Risultati sperimentazione

Conclusioni

L'obiettivo di questo studio era quello di identificare le caratteristiche analitiche della variabilità spaziale di alcune variabili all'interno di un campo coltivato a vite. Una delle variabili più importanti analizzate faceva riferimento ai sintomi della peronospora (*Plasmopara viticola*). Essendo questa una delle principali patologie che attaccano la vite si è cercato di studiare la diffusione spaziale dei sintomi di questa patologia.

Lo scopo dell'analisi dei vari fattori presi in considerazione come: n° di grappoli, n° di foglie e dell'indice di McKinney era volta alla ricerca di strutture di variabilità.

Tra le variabili analizzate soltanto il numero di foglie ha avuto un andamento dell'NE decrescente. Questo significa che il rapporto percentuale tra nugget e sill diminuisce, e di conseguenza che i dati raccolti hanno una forte dipendenza spaziale ed una variabilità che "si struttura" durante la stagione. Essendo le foglie strettamente correlate alla vigoria della pianta si potrebbe ipotizzare che questo fattore sia fortemente influenzato a sua volta da un altro fattore con alta dipendenza spaziale, come potrebbe essere la tessitura del terreno o la componente chimica della matrice suolo.

Diversamente da questo primo risultato la variabile che faceva riferimento all'indice di McKinney dei sintomi sui grappoli ha un andamento esattamente opposto, poiché l'indice NE nel corso della stagione tende ad aumentare. In questo caso quindi si passa da una situazione di variabilità più strutturata ad una di variabilità più casuale. Questo potrebbe essere dovuto alle infezioni secondarie che a differenza delle primarie non hanno nessun collegamento con la posizione, in quanto le spore vengono trasportate dalle correnti d'aria e della pioggia e perciò hanno una distribuzione casuale.

Per quanto riguarda l'indice di McKinney dei sintomi sulle foglie, in entrambi gli indici analizzati (NE e SDI) non abbiamo riscontrato un andamento regolare durante la stagione. L'NE assume comunque valori relativamente bassi e pertanto anche questo fattore ha una forte dipendenza spaziale, ma non assume una variabilità strutturata nell'arco della stagione, per avere risultati più significati in termini di variabilità si potrebbe intensificare il campionamento.

L'analisi effettuata sul numero di grappoli ha presentato un trend costante durante tutta la stagione; quindi, i grappoli riscontrati con la prima rilevazione sono rimasti numericamente molto simili fino all'ultimo campionamento, mantenendo valori dell'NE e dell'SDI bassi e perciò essendo estremamente in termini di dipendenza spaziale.

I risultati riguardanti il numero di foglie e l'indice di McKinney sui grappoli sono molto interessanti, in quanto ci permettono di fare delle ipotesi per poter migliorare i sistemi di agricoltura di precisione attualmente in uso.

In studi futuri si potrebbe cercare di approfondire l'ipotesi relativa al fattore che influenza la struttura della variabilità del numero di foglie e ipotizzare dei modelli matematici che rappresentino entrambe le variabili, partendo da una sola delle due.

Per quanto riguarda invece le variabili relative alla peronospora si è visto che con l'avanzare della stagione i sintomi assumono maggiori caratteristiche di casualità, pertanto si potrebbe provare ad aumentare il campionamento nel periodo in cui si ha l'infezione primaria e provare a rappresentare il fenomeno attraverso dei variogrammi e valutare la presenza o meno di una variabilità strutturata, in modo tale da andare a creare dei sistemi di previsione della malattia che riescano a fornirci informazioni utili e tempestive anche in merito alla posizione di partenza dell'infezione.

Bibliografia

- Ammoniaci, M., Kartsiotis, S.-P., Perria, R., Storchi, P., & Marinello, F. (2021). *State of the Art of Monitoring Technologies and Data Processing for Precision Viticulture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture>
- Arnó, J., Martínez-Casasnovas, J. A., Ribes-Dasi, M., & Rosell, J. R. (n.d.). *Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management*. www.inia.es/sjar
- Arnó, J., Rosell, J. R., Blanco, R., Ramos, M. C., & Martínez-Casasnovas, J. A. (2012). Spatial variability in grape yield and quality influenced by soil and crop nutrition characteristics. *Precision Agriculture*, 13(3), 393–410. <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9254-1>
- Ash, G. (2000). Downy mildew of grape. *The Plant Health Instructor*. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2000-1112-01>
- Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A. N. E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J. E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J. R., Messéan, A., Moonen, A. C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J. L., & Sattin, M. (2015). Eight principles of integrated pest management. In *Agronomy for Sustainable Development* (Vol. 35, Issue 4, pp. 1199–1215). Springer-Verlag France. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>
- Caffi, T., Rossi, V., & Bugiani, R. (2010). Evaluation of a warning system for controlling primary infections of grapevine downy mildew. *Plant Disease*, 94(6), 709–716. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-6-0709>
- Caffi, T., Rossi, V., Cossu, A., & Fronteddu, F. (2007). *Empirical vs. mechanistic models for primary infections of Plasmopara viticola* *. <http://www.sar.sardegna.it/>
- Casa et. al. (2016). *Agricoltura di Precisione*.
- Cesare Gessler, Ilaria Pertot, & Michele Perazzolli. (2011). *Plasmopara viticola: a review of knowledge on downy mildew of grapevine and effective disease management*. *Plant Pathology, Institute of Integrative Biology*.
- European Commission. (2019). *TOWARDS A SUSTAINABLE EUROPE BY 2030 EN*.
- European Commission. (2020). *Farm to Fork Strategy*.
- European Commission. (2022). *On the experience gained by Member States on the implementation of national targets established in their National Action Plans and on*

- progress in the implementation of Directive 2009/128/EC on the sustainable use of pesticides COM(2020)* 204.
https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20_05/SR_Pesticides_EN.pdf
- FAO. (n.d.). *FOOD AND AGRICULTURE Driving action across the 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- Gargano, G., Licciardo, F., Verrascina, M., & Zanetti, B. (2021). The agroecological approach as a model for multifunctional agriculture and farming towards the European green deal 2030 — Some evidence from the Italian experience. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–23.
<https://doi.org/10.3390/su13042215>
- German, R. N., Thompson, C. E., & Benton, T. G. (2017). Relationships among multiple aspects of agriculture’s environmental impact and productivity: A meta-analysis to guide sustainable agriculture. *Biological Reviews*, 92(2), 716–738. <https://doi.org/10.1111/brv.12251>
- Gonzalez-Dominguez, E., Caffi, T., Bodini, A., Galbusera, L., & Rossi, V. (2016). A fuzzy control system for decision-making about fungicide applications against grape downy mildew. *European Journal of Plant Pathology*, 144(4), 763–772. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0781-x>
- Hochman, Z., & Carberry, P. S. (2011). Emerging consensus on desirable characteristics of tools to support farmers’ management of climate risk in Australia. *Agricultural Systems*, 104(6), 441–450. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.03.001>
- Imaz, M., & Sheinbaum, C. (2017). Science and technology in the framework of the sustainable development goals. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 14(1), 2–17. <https://doi.org/10.1108/wjstsd-04-2016-0030>
- ITALY’S NATIONAL ACTION PLAN FOR THE SUSTAINABLE USE OF PLANT PROTECTION PRODUCTS.*
 (n.d.).
- Iutzi, F., & Jensen, R. (2019). Growing a Green New Deal: Agriculture’s Role in Economic Justice and Ecological Sustainability. *Interdisciplinary Journal of Partnership Studies*, 6(1), 4.
<https://doi.org/10.24926/ijps.v6i1.1749>
- Leroux, C., & Tisseyre, B. (2019). How to measure and report within-field variability: a review of common indicators and their sensitivity. *Precision Agriculture*, 20(3), 562–590.
<https://doi.org/10.1007/s11119-018-9598-x>
- Martínez-Casasnovas, J. A., Ramos, M. C., & Espinal-Utgés, S. (2010). Hillslope terracing effects on the spatial variability of plant development as assessed by NDVI in vineyards of the

BIBLIOGRAFIA

Priorat region (NE Spain). *Environmental Monitoring and Assessment*, 163(1–4), 379–396.
<https://doi.org/10.1007/s10661-009-0842-8>

Matese, A., & di Gennaro, S. F. (2015). Technology in precision viticulture: A state of the art review. In *International Journal of Wine Research* (Vol. 7, Issue 1, pp. 69–81). Dove Medical Press Ltd. <https://doi.org/10.2147/IJWR.S69405>

MCKINNEY, H. H. (1923). Influence of Soil Temperature and Moisture on Infection of Wheat Seedlings by “*Helminthosporium sativum*.” *Journal of Agricultural Research (Washington, D.C.)*, 26, 195.

Merot, A., Fermaud, M., Gosme, M., & Smits, N. (2020). Effect of conversion to organic farming on pest and disease control in French vineyards. *Agronomy*, 10(7).
<https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10071047>

Mhlanga, D. (2021). Artificial intelligence in the industry 4.0, and its impact on poverty, innovation, infrastructure development, and the sustainable development goals: Lessons from emerging economies? *Sustainability (Switzerland)*, 13(11).
<https://doi.org/10.3390/su13115788>

Minasny, B., & McBratney, A. B. (2005). The Matérn function as a general model for soil variograms. *Geoderma*, 128(3-4 SPEC. ISS.), 192–207.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.003>

Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali LINEE GUIDA PER LO SVILUPPO DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE IN ITALIA. (n.d.-a).

Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali LINEE GUIDA PER LO SVILUPPO DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE IN ITALIA. (n.d.-b).

Parlamento Europeo, & Consiglio Europeo. (2009).
DIRETTIVA 2009/128/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO.

Pérez-Expósito, J. P., Fernández-Caramés, T. M., Fraga-Lamas, P., & Castedo, L. (2017). Vinesens: An eco-smart decision-support viticulture system. *Sensors (Switzerland)*, 17(3).
<https://doi.org/10.3390/s17030465>

Pertot, I., Caffi, T., Rossi, V., Mugnai, L., Hoffmann, C., Grandi, M. S., Gary, C., Lafond, D., Duso, C., Thiery, D., Mazzoni, V., & Anfara, G. (2017). A critical review of plant protection tools for reducing pesticide use on grapevine and new perspectives for the implementation of IPM in viticulture. *Crop Protection*, 97, 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.025>

REGOLAMENTO (UE) 2018/848 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO.

- Rossi, V., Caffi, T., Giosuè, S., & Bugiani, R. (2008). A mechanistic model simulating primary infections of downy mildew in grapevine. *Ecological Modelling*, 212(3–4), 480–491. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.10.046>
- Rossi, V., Caffi, T., & Gobbin, D. (2013). Contribution of molecular studies to botanical epidemiology and disease modelling: Grapevine downy mildew as a case-study. In *European Journal of Plant Pathology* (Vol. 135, Issue 4, pp. 641–654). <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0114-2>
- Rossi, V., Caffi, T., & Salinari, F. (2012). Helping farmers face the increasing complexity of decision-making for crop protection. *Phytopathologia Mediterranea*, 51, 457–479. www.fupress.com/pm
- Rossi, V., Salinari, F., Poni, S., Caffi, T., & Bettati, T. (2014). Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: The example of vite.net®. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 88–99. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.011>
- Scown, M. W., & Nicholas, K. A. (2020). European agricultural policy requires a stronger performance framework to achieve the Sustainable Development Goals. *Global Sustainability*, 3. <https://doi.org/10.1017/sus.2020.5>
- Seidel, E. J., & de Oliveira, M. S. (2016). A classification for a geostatistical index of spatial dependence. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 40. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160007>
- Seidel, E. J., & Silva De Oliveira, M. (2014). *NOVO ÍNDICE GEOESTATÍSTICO PARA A MENSURAÇÃO DA DEPENDÊNCIA ESPACIAL (1)*.
- Taylor, J. A., Tisseyre, B., & Leroux, C. (2019). A simple index to determine if within-field spatial production variation exhibits potential management effects: application in vineyards using yield monitor data. *Precision Agriculture*, 20(5), 880–895. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9620-3>
- TOWARDS A SUSTAINABLE EUROPE BY 2030 COM(2019)22*. (n.d.).
- Williams, J., Alter, T., & Shrivastava, P. (2018). Systemic governance of sustainable agriculture: Implementing sustainable development goals and climate-friendly farming. *Outlook on Agriculture*. <https://doi.org/10.1177/0030727018795907>
- Zanchin, A., Sozzi, M., & Marinello, F. (2022). *Meno mezzi tecnici, PIÙ DSS*.

Sitografia

- www.pwc.com
- sdgs.un.org
- ec.europa.eu
- www.agricolus.com
- eur-lex.europa.eu
- www.consilium.europa.eu
- www.apsnet.org