

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO AGRONOMIA, ALIMENTI RISORSE NATURALI, ANIMALE E
AMBIENTE

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE VITICOLE ED ENOLOGICHE

VALIDAZIONE DI UN SISTEMA PER IL RICONOSCIMENTO DEI SINTOMI DI
FLAVESCENZA DORATA SU VITE

Relatore

Dott. Marco Sozzi

Correlatore

Dott. Giacomo Manera

Laureando: Simone Marcon

Matricola: 2007494

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Indice

Riassunto	pag. 4
Abstract	pag. 5
Introduzione	pag. 6
CAPITOLO 1 – Patologie della vite	pag.7
1.1. Peronospora	pag.7
1.2. Oidio	pag.8
1.3. Mal dell’Esca	pag.9
1.4. Botrite	pag.9-10
CAPITOLO 2 - Flavesceza dorata e Confusione con altre sintomatologie	pag.11
2.1 Descrizione e analisi della malattia	pag.11
2.1.1 Fitoplasmi	pag.11
2.1.2 Sintomi	pag.12-13
2.1.3 Controllo	pag.13
2.2 Il vettore: scaphoideus titanus	pag.14
2.2.1 Lotta contro il vettore	pag.15-16
2.2.2 Localizzazione del vettore	pag.17
2.3 Lotta chimica nell’ultimo ventennio	pag.18
3.1 Confusione con altre sintomatologie	pag.18
3.2 Clorosi Ferrica	pag.19
3.3 Carenza di magnesio	pag.19
3.4 Legno nero	pag.20
3.4.1 Hyalesthes obsoletus	pag.20-21
CAPITOLO 3 – Il sistema di riconoscimento basato su intelligenza artificiale	pag.22
3.1 Tipologia di reti neurali	pag.22
3.2 Tipologia di apprendimento	pag.22
3.3 Differenza tra ML e DL	pag.22
3.4 YOLO	pag.23-25
CAPITOLO 4 – Materiali e metodi	pag.26
4.1 Obiettivo della tesi	pag.26
4.2 Area di studio	pag.26
4.3 Danni della flavescenza dorata sul territorio	pag.27-29
4.3.1 Variazione di prezzo	pag.30
4.4 Dataset	pag.31-32
CAPITOLO 5 – Risultati e Discussione	pag.33-39
CAPITOLO 6 – Conclusione	pag.40-41
Bibliografia	pag.42
Sitografia	pag.43

RIASSUNTO

Il miglioramento dell'efficienza della produzione agricola è diventato cruciale, specialmente considerando i danni causati dal cambiamento climatico e dall'aumento dello sfruttamento del suolo, uniti alla crescente popolazione globale. Nel settore vitivinicolo, le principali minacce includono la presenza diffusa di patogeni e malattie che danneggiano le piante e compromettono la produzione in termini di qualità e quantità. Tra le malattie, la flavescenza dorata ha avuto un impatto significativo in Veneto, in particolare nella zona del Conegliano-Valdobbiadene prosecco superiore DOCG. Questa malattia è causata da fitoplasmi trasportati da un insetto vettore, la cicalina *Scaphoideus titanus*, e si manifesta attraverso sintomi come la colorazione gialla o dorata delle foglie, la crescita ridotta dei tralci e il disseccamento del raspo, portando alla morte della vite. Nel primo capitolo, si esplorano le patologie della vite, che possono derivare da batteri, funghi, virus e insetti. La gestione prevede misure preventive come la scelta di varietà resistenti e pratiche colturali adeguate. L'utilizzo di trattamenti fitosanitari può essere necessario per controllare le malattie. È cruciale per i viticoltori monitorare attentamente la salute delle viti e adottare le misure adeguate a proteggere i vigneti e garantire una produzione di uva sana e di alta qualità. La maggior parte delle cultivar di *Vitis vinifera* è suscettibile a patogeni come l'oidio, la peronospora e la muffa grigia, ma la suscettibilità varia tra le varietà e i cloni. L'introduzione di portinnesti resistenti a determinate fitopatie rappresenta un'innovazione in fase di sviluppo e test, offrendo potenziali soluzioni per mitigare gli effetti delle malattie sulla produzione vitivinicola. La ricerca condotta in questa tesi si è concentrata sulla validazione di un sistema innovativo per il riconoscimento dei sintomi della Flavescenza Dorata nella vite, utilizzando avanzate tecniche di intelligenza artificiale e apprendimento profondo. L'approccio ha combinato la conoscenza delle patologie della vite con l'utilizzo dell'algoritmo YOLO per il rilevamento degli oggetti. Il sistema sviluppato ha dimostrato una notevole capacità nel rilevare i sintomi della Flavescenza Dorata nei vigneti, con un'elevata precisione nella distinzione tra piante sane e affette. La ricerca ha affrontato la sfida di distinguere i sintomi specifici di questa malattia da altre patologie simili, contribuendo così a una diagnosi più accurata. Gli impatti economici della Flavescenza Dorata, come l'aumento dei costi e le perdite di produzione, sono stati evidenziati, ma l'applicazione di tecniche di intelligenza artificiale ha il potenziale per mitigarli attraverso il rilevamento precoce e una gestione più efficace. Questo approccio innovativo apre nuove prospettive per l'agricoltura di precisione, migliorando l'efficienza nella gestione delle risorse e contribuendo alla sostenibilità a lungo termine dell'agricoltura, affrontando le sfide legate al cambiamento climatico e alla crescente domanda di cibo. Nonostante i risultati promettenti, è importante riconoscere le limitazioni attuali, come la necessità di dataset più ampi e diversificati per migliorare ulteriormente l'accuratezza del modello.

ABSTRACT

The improvement of agricultural production efficiency has become crucial, especially considering the damages caused by climate change and the increasing exploitation of soil, coupled with the growing global population. In the viticulture sector, major threats include the widespread presence of pathogens and diseases that damage plants, compromising production in terms of quality and quantity. Among these diseases, flavescence dorée has had a significant impact in Veneto, particularly in the Conegliano-Valdobbiadene Prosecco Superiore DOCG area. This disease is caused by phytoplasmas transmitted by a vector insect, the leafhopper *Scaphoideus titanus*, and manifests through symptoms such as yellow or golden discoloration of leaves, reduced vine growth, and drying of stems, leading to vine death. In the first chapter, vine pathologies are explored, originating from bacteria, fungi, viruses, and insects. Management involves preventive measures such as selecting resistant varieties and adopting appropriate cultivation practices. The use of phytosanitary treatments may be necessary to control diseases. It is crucial for viticulturists to closely monitor vine health and take appropriate measures to protect vineyards, ensuring a production of healthy and high-quality grapes. Most *Vitis vinifera* cultivars are susceptible to pathogens like powdery mildew, downy mildew, and gray mold, but susceptibility varies among varieties and clones. The introduction of rootstocks resistant to specific diseases represents an innovation in development and testing, offering potential solutions to mitigate the effects of diseases on grape production. The research in this thesis focused on validating an innovative system for recognizing symptoms of flavescence dorée in vines, utilizing advanced artificial intelligence and deep learning techniques. The approach combined a profound understanding of vine pathologies with the application of cutting-edge technology, specifically using the YOLO algorithm for object detection. The developed system demonstrated significant capability in detecting flavescence dorée symptoms in vineyards, achieving high precision in distinguishing between healthy and affected plants. The research addressed the challenge of differentiating specific symptoms of this disease from other similar pathologies, contributing to more accurate diagnosis. Economic impacts of flavescence dorée, such as increased costs and production losses, were highlighted, but the application of artificial intelligence techniques has the potential to mitigate these impacts through early detection and more effective management. This innovative approach opens new perspectives for precision agriculture, enhancing efficiency in resource management and contributing to the long-term sustainability of agriculture in the face of challenges posed by climate change and increasing food demand. Despite promising results, it is essential to recognize current limitations, such as the need for larger and more diverse datasets to further improve the model's accuracy.

INTRODUZIONE

Per migliorare l'efficienza della produzione nel reparto agricolo sono diventate sempre più importanti le tecnologie e le innovazioni, soprattutto per sopperire ai danni causati dal cambiamento climatico e l'aumento dello sfruttamento del suolo tenendo conto del continuo aumento di popolazione a livello globale, è quindi fondamentale in campo agricolo avere una resa elevata della coltivazione sia cerealicole che vigneti, tanto da soddisfare la domanda del bene primario.

Le minacce che affliggono il mondo dell'agricoltura, nel nostro caso specifico, nel mondo vitivinicolo è la grande presenza di patogeni e di malattie a loro collegate che vanno a danneggiare le piante stesse e poi ad intaccare la produzione sia in termini di qualità che di quantità. Ci sono fitopatie storiche che accompagnano le viti da molti anni ed alcune più recenti che hanno avuto un impatto ambientale ed economico notevole a livello europeo ma anche in Italia e soprattutto nel Veneto. Una di queste malattie così gravi e devastanti che hanno interessato il nostro territorio è la flavescenza dorata, malattia causata da alcuni fitoplasmi i quali vengono trasmessi di pianta in pianta tramite un insetto vettore, in particolare da una cicalina chiamata *Scaphoideus titanus*. I sintomi riconoscibili della malattia sono una colorazione gialla o dorata delle foglie, una crescita ridotta dei tralci, disseccamento del raspo con perdita di quantità di produzione, portando alla morte della vite. L'area della marca trevigiana e in particolare la zona del Conegliano-Valdobbiadene prosecco superiore DOCG hanno risentito particolarmente in questo periodo storico di grandi focolai della malattia tanto da dover estirpare interi vigneti a causa della forte presenza di viti contrassegnate dai tipici sintomi della malattia.

CAPITOLO UNO - PATOLOGIE DELLA VITE

Le malattie collegate al mondo viticolo possono essere molteplici, causate da vari agenti patogeni tra cui batteri, funghi, virus e insetti. La gestione delle patologie della vite coinvolge misure preventive, come la scelta di varietà resistenti e pratiche colturali adeguate. L'uso di trattamenti fitosanitari può essere necessario per controllare le malattie in modo preventivo. È fondamentale per i viticoltori monitorare attentamente la salute delle viti e adottare le misure appropriate per proteggere i vigneti e garantire una produzione di uva sana e di alta qualità.

La maggior parte delle cultivar di *Vitis vinifera* sono notoriamente suscettibili agli agenti di oidio (*Erysiphe necator*), peronospora (*Plasmopara viticola*) e muffa grigia (*Botrytis cinerea*), ma non tutte lo sono allo stesso modo. La suscettibilità è di tipo varietale ovvero dipende dalla predisposizione di una certa varietà o clone ad ammalarsi più o meno gravemente è un elemento da tenere in considerazione sia in fase di impianto che in fase di gestione del vigneto. Con il susseguirsi dell'innovazione e delle ricerche, ma ancora in fase di sviluppo e di test, sono stati sviluppati dei portinnesti resistenti ad alcune fitopatie.

1.1 PERONOSPORA

La peronospora è una delle più gravi patologie della vite europea (*Vitis vinifera*). Fu segnalata per la prima volta in Europa nel 1878, dove probabilmente fu importata dall'America attraverso il materiale di propagazione resistente alla fillossera. *Plasmopara viticola*, l'oomicete agente causale della malattia, penetra nei tessuti dell'ospite attraverso le aperture stomatiche e colpisce quindi tutti gli organi erbacei della vite su cui sono presenti gli stomi. Le foglie divenute sensibili presentano, come conseguenza dell'infezione, chiazze tondeggianti sulla pagina superiore, con colorazione che vira dal verde chiaro al giallastro. Le macchie possono localizzarsi ai bordi fogliari, dove assumono un aspetto irregolare. Con l'avanzare dell'incubazione, le lesioni assumono un aspetto traslucido ("macchia d'olio"), determinato dallo sviluppo del micelio nei tessuti fogliari. Gli attacchi di peronospora sui grappoli sono estremamente temibili dal punto di vista produttivo. L'infezione precoce dell'infiorescenza (dalla prefioritura fino a fine fioritura) determina imbrunimento e ripiegamento ad uncino (o ad "esse") della parte terminale del raspo. (D Angeli, 2007)



Figura 1 macchie ad olio tipiche della peronospora

1.2 OIDIO

L'oidio della vite, conosciuto anche con il nome di “mal bianco”, è normalmente presente nei vigneti della penisola italiana. L'oidio, al pari della peronospora, può avere un impatto disastroso sulla produzione viticola, sia in termini quantitativi, sia qualitativi. Ciò è spiegabile principalmente dalle caratteristiche biologiche del fungo (*Erysiphe necator*) che lo rendono, da un lato poco dipendente dalle condizioni climatiche e dall'altro gli conferiscono un'elevata capacità di moltiplicazione e diffusione rendendo impegnativa la difesa contro questa malattia. I sintomi sulle foglie sono costituiti da aree più chiare sulle quali compare inizialmente una patina biancastra evanescente. L'oidio può colpire anche i tessuti giovani dei tralci. I sintomi più gravi della malattia si hanno sulle infiorescenze che sono suscettibili già prima della fioritura. Gli attacchi precoci causano l'aborto e la caduta dei fiori od inibiscono la crescita dei grappolini. In seguito ad infezioni post-fiorali le cellule dell'epidermide degli acini colpiti dal patogeno necrotizzano, non riescono ad assecondare la crescita in volume della polpa e di conseguenza si spaccano aprendo la strada ad altre infezioni. (D Angeli, 2007)



Figura 2 sintomi oidio foglia



Figura 3 sintomi oidio su grappolo

1.3 MAL DELL'ESCA

Il mal dell'esca è una complessa sindrome della vite che negli anni è andata assumendo importanza, sia in Italia che in altri paesi viticoli, a causa della sua sempre maggiore incidenza e dei gravi danni che può arrecare alla produzione e alla vigoria della pianta stessa, fino a determinare spesso la morte. La presenza di legno cariato ossia legno di aspetto spugnoso, friabile e di colore biancastro sono sintomi tipici della malattia, riscontrabili all'interno del tronco. Ci sono dei segni distintivi della comparsa della malattia visionando le parti fogliari, inizialmente rappresentati da chiazza giallastre che poi vanno estendendosi nelle aree internervali e che gradualmente imbruniscono e necrotizzano. In presenza di accentuati sintomi fogliari, i tralci lignificano in modo irregolare, diventano bruni con un disseccamento localizzato o totale degli internodi; il sintomo può essere esteso ai tralci di tutta la pianta. (belli, 2011)



Figura 3 sintomi su Glera



Figura 4 carie vista trasversalmente

1.5 BOTRITE

La muffa grigia dell'uva, causata da *Botrytis cinerea* è presente in tutti i comprensori viticoli del mondo, sue notizie risalgono fin dal Medioevo. Le caratteristiche organolettiche delle uve affette da marciume nobile sono note in particolari vini prodotti in alcune zone come nella regione del Tokay o del Sauternes. Non sempre la colonizzazione di *B.cinerea* ha conseguenza positive. I danni che conseguono all'attacco del patogeno sono sia quantitativi che qualitativi. Il fungo conferisce odori e sapori sgradevoli nei vini, ne riduce l'acidità totale e può inoltre provocare cambiamenti nel colore e nella limpidezza del prodotto finale. *B.cinerea* è in grado di infettare tutti gli organi erbacei della vite, provocando sintomi molto diversi tra loro. Durante la primavera a decorso umido e piovoso, le infezioni a carico dei giovani germogli danno luogo alla comparsa di aree brunastre che si ricoprono di un 'abbondante sporulazione grigiastra se l'umidità relativa permane su valori elevati. Le zone infette presentano una notevole fragilità e possibilità di spezzarsi. Sintomi di muffa grigia cominciano a comparire sull'acino con una certa frequenza dall'invasiatura in avanti. *B.cinerea* può rimanere

latente sull'acino fino al momento dell'invaiaatura, il suo ciclo d'infezione viene completato in pochi giorni, andando così a proliferare in condizioni ottimali di umidità e temperatura, creando la classica muffa grigia. L'uso di antibiotritici specifici è abbinato nella viticoltura moderna ad una serie di misure prettamente agronomiche che si sono rivelate di notevole efficacia. (belli, 2011)



Figura 4 Attacco di B.cinerea su grappolo

CAPITOLO 2 – LA FLAVESCENZA DORATA

2.1 Descrizione e analisi della malattia

I fitoplasmi sono procarioti privi di parete cellulare, il cui citoplasma è racchiuso in una duplice membrana lipoproteica. L'assenza della parete conferisce ai fitoplasmi diverse forme e per tale motivo sono detti pleomorfi: le loro forme hanno dimensioni variabili comprese fra i 200 e 800 nm, oppure di forma allungata (Assunta Bertaccini, 2014). I fitoplasmi sono patogeni a localizzazione floematica e il principale danno che apportano alla pianta è strettamente associato all'alterazione della funzionalità dei tubi cribrosi. Una bassa concentrazione di fitoplasmi o una dislocazione nel floema, tale da non comprometterne la funzionalità, può risultare in un'assenza di sintomi (infezione latente). Inoltre fattori non sempre quantificabili quali i differenti ceppi del fitoplasma, i diversi cloni della medesima cultivar di vite, la presenza di altri patogeni, i parametri climatici, le condizioni colturali e agronomiche (potature, trattamenti insetticidi, concimazioni, forme di allevamento), possono incidere sia sul grado di diffusione di questi agenti di giallumi della vite, sia sull'espressione dei sintomi. Si può spiegare così come alcune piante risultano sintomatiche un anno e non sintomatiche quello successivo. (DORATA, 2014)

2.1.1 I Fitoplasmi

I fitoplasmi sono organismi procarioti parassiti obbligati sprovvisti di parete cellulare che si trovano localizzati nel floema delle piante, nel quale possono spostarsi facilmente da una cellula all'altra attraverso i pori delle placche cribrose. In queste cellule inducono aberrazioni anatomiche (depositi di callosio) portanti ad un collasso degli elementi del floema e un consumo eccessivo di metaboliti che causano vari scompensi alla pianta. (Bosco, 2011)

2.1.2 Sintomi

Le foglie assumono colorazione giallo-dorata nei vitigni ad uva bianca e rosso-vinosa in quelli a bacca rossa. Le decolorazioni possono essere limitate ad un settore della foglia o estendersi a tutta la lamina, comprese le nervature. La lamina fogliare risulta ispessita, bollosa, di consistenza cartacea, con i bordi arrotolati verso il basso, fino ad assumere una forma a triangolo. In alcune varietà, come Trebbiano e Prosecco, non si notano accartocciamenti fogliari. In varietà quali la Garganega, quando la malattia si manifesta precocemente con sintomi evidenti sui grappolini, le foglie presentano qualche ingiallimento ma non l'accartocciamento tipico che comparirà qualche tempo dopo.



Figura 5 foglia ripiegata di vite affetta da flavescenza dorata

Nel caso di comparsa precoce dei sintomi, i tralci infetti appaiono di consistenza gommosa e tendono a piegarsi verso il basso, conferendo alla pianta un aspetto prostrato. La lignificazione non avviene o avviene solo parzialmente e, nel contempo, i tralci si ricoprono alla base di piccole pustole scure dall'aspetto oleoso. Nel caso, invece, di manifestazioni tardive (settembre-ottobre) possono essere completamente lignificati e le foglie presentare i tipici accartocciamenti.



Figura 6 Tralcio con pustole oleose

Anche il grappolo è interessato dalla malattia che ne può provocare l'avvizzimento e il successivo disseccamento. In vigneto la Flavescenza dorata provoca perdite produttive molto importanti, deperimenti dei tralci e dell'intera pianta colpita e può portare a morte le viti nel giro di pochi anni (Cainelli, 2019)



Figura 7 Sintomi su grappolo

Non esiste una cura per la flavescenza dorata una volta che una vite è infettata. Per gestire la malattia e prevenirne la diffusione è essenziale agire tempestivamente. Le strategie comuni includono la rimozione e distruzione delle viti infette, il controllo rigoroso degli insetti vettori e l'applicazione di misure di quarantena nelle aree interessate. Alcune varietà di viti possono mostrare livelli di resistenza variabili alla flavescenza dorata, che possono essere considerate nelle decisioni di impianto. (Belli, 2011). L'impatto economico la flavescenza dorata rappresenta una grave minaccia per il mondo viticolo e del vino a causa della riduzione dei raccolti di uva, della perdita di produttività delle viti e della potenziale diminuzione della qualità del vino. Inoltre, gli sforzi per controllare la malattia possono comportare notevoli spese per i viticoltori e i proprietari di vigneti. Dato il carattere grave della flavescenza dorata e il suo potenziale devastante per i vigneti, è fondamentale che i viticoltori rimangano vigili, aderiscano alle misure fitosanitarie e collaborino con le autorità agricole per gestire e mitigare l'impatto di questa distruttiva malattia delle viti.

2.1.3 Controllo

Il Decreto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (D.M. 32442) del 31 maggio 2000 introduce la lotta obbligatoria alla Flavescenza dorata e al suo vettore. I servizi fitosanitari regionali sono incaricati di effettuare il monitoraggio, la sorveglianza e l'accertamento della presenza della malattia e del vettore nei propri territori di competenza. In vivaio l'assoluta assenza del vettore è indispensabile per poter prelevare materiale di propagazione sano, ne consegue la necessità di continui trattamenti insetticidi. Per ottenere barbatelle sane, i vivaisti possono adottare una tecnica che si basa sul trattamento termico in acqua del materiale di propagazione immergendo le barbatelle

a 50° C per 45 minuti in acqua, si ottiene il risanamento del materiale infetto (Belli, 2011). Secondo i principi generali di difesa integrata, presenti nel Piano di Azione Nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (D.M. 22/01/2014), devono essere messi in atto tutte le possibili strategie a basso impatto ambientale al fine di ridurre il più possibile l'impiego dei prodotti fitosanitari. Lo strumento più efficace a supporto degli insetticidi per la lotta contro il vettore della Flavescenza dorata risulta essere il monitoraggio; con alte densità di popolazione si eseguono due trattamenti: uno a fine giugno dopo la fioritura, prima che l'insetto diventi contagioso e l'altro contro gli adulti sopravvissuti al primo trattamento.

2.2 Il vettore: *scaphoideus titanus*

La Flavescenza dorata, FD, è una malattia della vite che fa parte dei cosiddetti “giallumi” (GY= grapevine yellows), ossia del gruppo delle ampelopatie causate da fitoplasmi. È stata osservata per la prima volta nel sud-est della Francia negli anni 50'; successivamente simili sintomatologie sono state osservate in molte altre regioni d'Europa, America settentrionale, Asia minore, Sud Africa e Australia. Attualmente la sua diffusione in Europa è preoccupante, soprattutto nell'Italia settentrionale e in Francia, in cui si registrano costantemente delle epidemie, nonostante il fitoplasma FD sia un organismo da quarantena per la Comunità Europea, ed esistano precise regolamentazioni per il controllo, l'eradicazione e la protezione delle piante (Bosco, 2011). *S. titanus* è una specie monovoltina, dunque compie una sola generazione l'anno e sverna come uovo. Il ciclo avviene totalmente nella vite e inizia con la deposizione delle uova verso la fine dell'estate, da agosto ad ottobre all'interno del ritidoma dei tralci di uno o più anni e possono essere deposte individualmente o in gruppi (Schvester et al. 1962b; Vidano. 1964; Bagnoli and Gargani 2011)). *S. titanus* è un insetto che rientra nell'ordine degli emitteri e appartiene alla famiglia delle Cicadellidae. Questa cicalina è floemomiza ampelofaga, vive esclusivamente sulla vite pungendo le foglie in modo da suggerire la linfa elaborata del floema (Seljak, 1987)

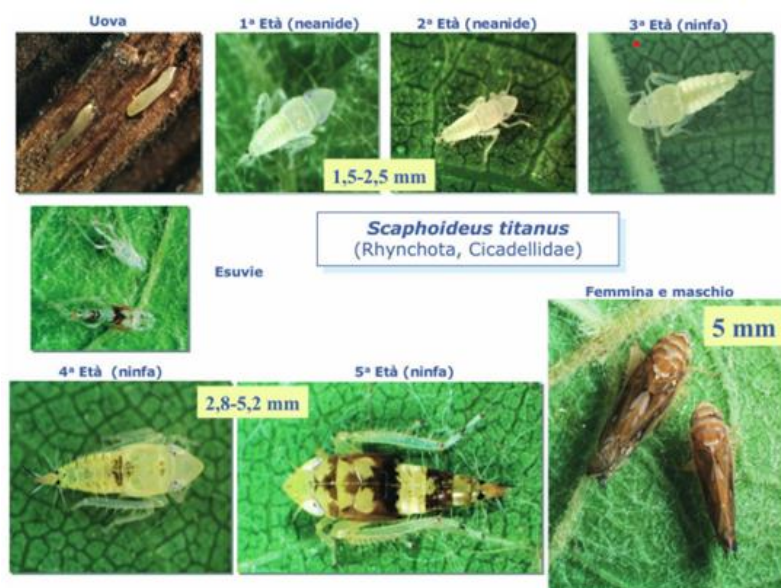


Figura 8 ciclo *Scaphoideus titanus* (l'Aratro-confagricoltura Alessandria)

2.2.1 Lotta contro il vettore

Per combattere *Scaphoideus titanus* (ST), esistono due principali strategie di lotta: agronomica e chimica. La lotta agronomica è un metodo che consiste nell'eliminazione delle piante potenzialmente infette, sia rimuovendo le viti sintomatiche alla comparsa dei primi sintomi, sia estirpando viti selvatiche o vigneti abbandonati che potrebbero essere sorgenti di infezione. Inoltre, si può intervenire eliminando i polloni e il legno di potatura di due anni che potrebbero ospitare uova svernanti. Pratica molto importante è l'estirpo dei vigneti abbandonati e delle viti inselvaticchite, in quanto continue sorgenti di vettori infetti, che possono vanificare gli effetti positivi della lotta insetticida effettuata all'interno dei vigneti stessi (Bosio, 2004)



Figura 9 Ceppo capitozzato

La scelta del momento in cui eseguire i trattamenti è la chiave del successo nella gestione delle popolazioni di *Scaphoideus titanus* in vigneto. La cicalina trasmette il fitoplasma delle FD da una vite ad un'altra con estrema velocità. Al fine di rallentare la diffusione della malattia è necessario un buon controllo e una buona gestione del vettore su scala territoriale. Per la scelta del momento più idoneo ad eseguire il primo trattamento è richiesto il monitoraggio degli stadi giovanili di sviluppo presenti sulle foglie, con partecipazione di tecnici addestrati insieme ai viticoltori. I dati sulla ripartizione degli stadi giovanili nel tempo permettono di dividere la regione monitorata in zone macroclimatiche, potendo suggerire per ciascuna area il momento migliore per l'esecuzione del trattamento che in seguito si può differenziare sulla base del tipo di prodotto utilizzato (Winetwork, 2017).

Nella lotta chimica ad oggi non esistono sostanze in grado di andare a colpire direttamente gli agenti causanti della flavescenza, i fitoplasm, quindi la soluzione trovata è stata quella di combattere il vettore che li trasporta da una pianta all'altra, tramite l'utilizzo degli insetticidi. Le perdite di prodotto e del conseguente reddito causate dai parassiti e dalle malerbe sulle coltivazioni giustificano gli interventi di difesa adottati a salvaguardia delle stesse. A partire dal dopoguerra lo sviluppo della chimica di sintesi ha messo a disposizione degli agricoltori prodotti chimici altamente efficaci per la difesa delle colture, con innegabili benefici sotto il profilo della resa quantitativa e qualitativa delle produzioni. Il ricorso indiscriminato ai mezzi di difesa chimici su grandi superfici e con quantitativi significativi di prodotti fitosanitari ha tuttavia causato l'inquinamento ambientale di terreni e delle acque. In passato è stato effettuato più che un uso, un abuso dei prodotti fitosanitari. Con i cosiddetti trattamenti "a calendario" la lotta chimica veniva effettuata con trattamenti a cadenze prefissate o in corrispondenza di ben definite fasi fenologiche delle piante. I prodotti fitosanitari sono miscele costituite da sostanze attive, un tempo denominate principio attivo, sono le sostanze o i microrganismi, aventi un'azione generale o specifica sugli organismi nocivi (funghi, batteri, virus, insetti, acari, fitoplasm) o su vegetali (su piante e/o semi infestanti). Tra le sostanze attive sono comprese anche le sostanze che favoriscono i processi vitali dei vegetali cioè i fitoregolatori (ormoni), quelle per la conservazione dei prodotti vegetali (concia dei semi) con esclusione dei conservanti alimentari e dei fertilizzanti. I coadiuvanti e co-formulanti sono aggiunti alla sostanza attiva per migliorarne l'efficacia, agevolare la preparazione, facilitarne la stabilità e la distribuzione della miscela. (Vieri, 2012). Il controllo biologico naturale di *S. titanus* non è sufficiente a contenere le popolazioni del vettore a livelli accettabili. Sono pertanto necessari interventi di lotta che prevedono soprattutto l'impiego di insetticidi. Prima di intervenire con insetticidi, è necessario, adottare tutti i mezzi agronomici che possono aiutare a contenere le popolazioni del vettore. Sulla base del fatto che il ritidoma del legno di due o più anni è il sito preferenziale di ovideposizione di *S. titanus* (GARGANI, 2011). Le recenti epidemie di Flavescenza dorata stanno causando estrema preoccupazione tra i produttori di vino. Non possono più applicare gli insetticidi tradizionali che si sono rivelati altamente efficaci contro *S. titanus* in passato, a causa delle restrizioni imposte dalle autorità dell'UE. L'impatto degli insetticidi disponibili è stato considerato un fattore chiave nelle recenti epidemie di vettore e la relativa malattia

da fitoplasma trasmessa. Questa situazione ne suggeriva la necessità di valutare l'efficacia degli insetticidi disponibili. Tra gli insetticidi convenzionali, i più efficaci sono stati acrinatrina, deltametrina, lambda-cialotrina, etofenprox e sulfoxaflor. Tuttavia, la loro attività residua sembra essere limitata e alterata dalle alte temperature che si verificano in estate, la maggior parte di essi appartiene al gruppo IRAC 3°A. Le strategie da adottare per il contenimento del fitoplasma vettore della Flavescenza dorata. I due capisaldi di questa strategia devono essere un accurato controllo delle ninfe mediante un utilizzo efficace di insetticidi e la rimozione di fonti esterne di adulti infettivi di *S. titanus*. Infatti, molti insetticidi hanno un buon effetto abbattente contro le ninfe, ed alcuni hanno un certo livello di attività residua. Considerando la limitata attività residua della maggior parte insetticidi contro gli adulti, occorre prestare attenzione allo sradicamento dei vigneti abbandonati e dei vitigni che crescono spontaneamente (Stefan Cristian, 2023).

2.2.2 Localizzazione del vettore

Negli ultimi anni, il mondo viticolo è stato messo a dura prova a causa del cambiamento climatico e in quanto sempre più piante risultano essere colpite da patologie. Di particolare spicco è la Flavescenza Dorata distintasi per la rapidità di espansione e danni provocati ad impianti viticoli con grande densità di arbusti a causa di mancata attenzione e scarsa informazione da parte del personale atto alla loro lavorazione (Winetwork, 2017). La continua diminuzione di barriere naturali, quali i boschi, e le mancate o scorrette lavorazioni chimiche mirate al contenimento della diffusione dell'insetto vettore permettono l'avanzamento della patologia nelle zone limitrofe provocando danni di vasta entità. La cicalina non è autoctona, è stata introdotta negli anni 50 dall'America da cui poi la conseguente diffusione in gran parte del territorio europeo.



Figura 10 Zone europee in cui è presente la cicalina

2.3 Lotta chimica nell'ultimo ventennio

Affrontare la lotta chimica nel modo in cui veniva fatto negli anni 2000 presenta oggi diverse sfide e limitazioni, rendendo questa pratica sempre meno sostenibile e raccomandabile. Negli anni le sostanze attive che sono state sviluppate sono risultate dannose e rischiose sia per gli animali e l'ecosistema sia per l'uomo perciò col passare degli anni sono state abrogate moltissime sostanze. Inoltre un altro problema che si è visto col passare del tempo è stato che molti patogeni della vite, insetti e funghi nel tempo hanno sviluppato una resistenza ai prodotti fitosanitari costringendo le aziende che li producono ad una nuova e costante ricerca di molecole attive per combatterli.

L'uso eccessivo di prodotti chimici può avere impatti negativi sull'ambiente, contaminando le risorse idriche e di conseguenza compromettere gli ecosistemi acquatici, causando problemi di inquinamento. Non solo, si va a compromettere la biodiversità creatasi nel vigneto andando a danneggiare anche gli organismi utili. L'uso eccessivo di sostanze chimiche agricole può potenzialmente lasciare residui sulle uve e quindi ritrovarseli nel vino. È necessario adottare approcci più sostenibili e integrati per la gestione delle patologie della vite, per proteggere l'ambiente, garantire la sicurezza alimentare e promuovere la sostenibilità a lungo termine del settore viticolo.



Figura 12 Simbolo SQNPI



Figura 11 Simbolo del biologico

3.1 Confusione con altre sintomatologie

I sintomi della flavescenza dorata (FD) possono essere facilmente confusi con quelli di altre malattie, poiché spesso comportano variazioni di colore che dipendono dal tipo di vitigno, se rosso o bianco. Alcuni tipi di arrossamenti o ingiallimenti delle foglie possono essere causati da danni meccanici alla base del tralcio, carenza acuta di magnesio, presenza di marciume radicale. Nel caso del mal dell'esca, si possono osservare sintomi simili, come una decolorazione e il ricciolo verso l'alto della pagina della foglia. La sfida nella diagnosi della FD risiede quindi nella distinzione accurata dei sintomi, considerando la variabilità delle manifestazioni e l'effetto specifico che hanno su diversi tipi di vitigni. La flavescenza dorata può essere confusa con altre malattie della vite o condizioni che causano sintomi simili. Alcune delle malattie e condizioni che possono essere scambiate per flavescenza dorata includono:

3.2 Clorosi ferrica

Sotto il nome di “Clorosi ferrica” è genericamente inteso quel fenomeno di più o meno diffuso ingiallimento della lamina foglia, la cui causa è da ricercare in una carenza di ferro che com'è noto rappresenta un elemento insostituibile nella formazione del pigmento verde. La diagnosi di questa alterazione è in genere piuttosto semplice: accanto ad un ingiallimento delle foglie, che, almeno nei casi meno gravi, non interessa le nervature delle foglie, si nota spesso una maggiore sottigliezza del lembo, mentre in alcune specie, i frutti si presentano spesso più piccoli del normale o di colorazione meno intensa. Le cause della clorosi ferrica possono essere le più svariate: assenza di questo elemento, eccesso di umidità nel suolo o notevoli quantità in esso di metalli pesanti quali manganese, zinco e rame, temperature troppo basse o troppo alte (Bosco D. , 1963)



Figura 13 Vite affetta da clorosi ferrica

3.3 Carenza di magnesio

Il magnesio (Mg^{2+}), nutriente minerale coinvolto in molti processi biochimici, è uno fra i cationi bivalenti più abbondanti all'interno delle cellule vegetali. La sua limitata disponibilità contribuisce al rallentamento dell'attività fotosintetica, impedisce la corretta allocazione dei fotosintetati, provoca clorosi fogliare e una riduzione della biomassa radicale. La sintomatologia della carenza di Mg^{2+} è stata caratterizzata mediante la registrazione di alcuni parametri fisiologici, quali il contenuto di clorofilla. (Zamboni, 2012)



Figura 14 Vite affetta da carenza di magnesio

3.4 Legno nero

In questi ultimi anni nelle regioni nord-est italiane il Legno nero della vite (“Bois Noir”, BN) è in forte e continua espansione. La lotta insetticida effettuata nei vigneti contro le tignole e gli altri fitofagi della vite non influenza né le densità di popolazione dell’insetto vettore *Hyalesthes obsoletus* (Cavallini et al., 2003) né l’incidenza e l’incremento della malattia. La modalità di trasmissione a vite dell’agente causale di BN implica il ruolo fondamentale di alcune piante erbacee (es. convolvolo e ortica) che, oltre ad essere piante ospiti dell’insetto vettore, fungono da serbatoio del fitoplasma (Arzone et al., 1995; Maixner et al., 1995; Sforza et al., 1998). Considerando l’inefficacia della tradizionale lotta insetticida nei vigneti e il ruolo di alcune piante erbacee nell’epidemiologia della malattia, l’unica forma di lotta efficace contro *H. obsoletus* sembra essere l’eliminazione selettiva di queste ultime (Mori, 2005)

3.4.1 *Hyalesthes obsoletus*

Emittente della famiglia Cixiidae, è stato identificato in Germania come vettore di legno nero della vite, ma il fitoplasma è stato successivamente ritrovato in numerose altre cicaline in Francia, Israele, Italia e Ungheria. La presenza della malattia in zone dove *H. obsoletus* è assente o scarsamente rappresentato ed il fatto che la cicalina mal si adatti alla vite, dove si nutre solo in caso di necessità e per brevi periodi, fanno postulare l’esistenza di altri possibili vettori. *H. obsoletus* compie una sola generazione l’anno e sverna come stadio giovanile sulle radici di ospiti erbacei, soprattutto, nei nostri climi, l’ortica, ma anche il convolvolo. Entrambe le specie infestanti sono diffuse negli interfilari, nei filari e nelle bordure dei vigneti e possono essere infettate dal fitoplasma, spesso anche in modo asintomatico. Esse rappresentano quindi un serbatoio per il fitoplasma e per l’insetto vettore, con evidente impatto epidemiologico. La caratterizzazione mediante analisi del profilo di restrizione di alcune sequenze genetiche ha permesso di identificare almeno 2 isolati di fitoplasma che possono infettare la vite ed il vettore, ciascuno però associato a una sola specie infestante. Il controllo dell’infezione risiede pertanto nella riduzione del

numero di specie ospiti del vettore, nella riduzione della popolazione del vettore e nel continuo monitoraggio della diversità del patogeno. Alcune osservazioni hanno recentemente suggerito che, nelle zone con contemporanea presenza delle due fitoplasmosi, i trattamenti insetticidi obbligatori effettuati per il controllo di *Scaphoideus titanus*, vettore di FD, non abbiano avuto effetto di riduzione della popolazione di *H. obsoletus*. (Marzachi, 2006)



È importante sottolineare che il corretto riconoscimento delle malattie e delle condizioni della vite è essenziale per adottare le giuste misure di gestione. In caso di sospetta presenza di flavescenza dorata o altre malattie, è consigliabile consultare un esperto o un fitopatologo per una diagnosi precisa e per determinare le azioni da intraprendere per proteggere le viti e prevenire la diffusione delle malattie. L'analisi di immagini in viticoltura sta diventando sempre più importante per migliorare la gestione dei vigneti e ottimizzare le rese.

CAPITOLO 3- Il sistema di riconoscimento basato su intelligenza artificiale

Il Deep Learning (DL) è una tecnologia di apprendimento automatico che alimenta molti aspetti della società moderna. È utilizzato in diverse applicazioni, come ricerche sul web, filtraggio dei contenuti sui social network, raccomandazioni su siti di e-commerce e prodotti di consumo come fotocamere e smartphone. Questa tecnologia si basa su una classe di tecniche chiamate Deep Learning, che ha la capacità di elaborare dati grezzi in modo da riconoscere e classificare modelli in input. Le tecniche convenzionali di apprendimento automatico avevano limitazioni nella loro capacità di elaborare dati grezzi. Costruire un sistema di apprendimento automatico richiedeva l'esperienza di progettare un estrattore di caratteristiche che trasformasse i dati grezzi in rappresentazioni interne o vettori di caratteristiche. Tuttavia, il DL ha superato questa limitazione permettendo alle macchine di essere alimentate con dati grezzi e scoprire automaticamente le rappresentazioni necessarie per la rilevazione o la classificazione. Il DL utilizza metodi di rappresentazione-apprendimento con più livelli di rappresentazione, ottenuti componendo moduli semplici, ma non lineari, che trasformano i dati in rappresentazioni sempre più astratte. L'apprendimento di queste rappresentazioni avviene automaticamente dai dati senza l'intervento di ingegneri umani. Ciò ha permesso al DL di ottenere risultati sorprendenti in varie applicazioni, come il riconoscimento delle immagini, il riconoscimento vocale, la previsione di attività di molecole di farmaci, la ricostruzione di circuiti cerebrali e altre sfide complesse.

3.1 Tipologia di reti neurali

Il Deep Learning utilizza reti neurali artificiali per apprendere da dati non forniti dall'uomo ma da una serie di livelli creati da algoritmi, componendo una rete neurale gerarchica. Le reti neurali del DL si avvicinano al funzionamento dei neuroni del nostro cervello, consentendo di comprendere l'ambiente e fornire risposte che si ambientino ad esso.

3.2 Tipologia di apprendimento

Le reti neurali del DL possono apprendere attraverso tre tipi di apprendimento: supervisionato, non supervisionato e per rinforzo. Nel sistema supervisionato, vengono forniti dati di input e output, e l'algoritmo cerca di apprendere i valori comuni tra di essi. Nel sistema non supervisionato, sono presenti solo i dati di input, e la rete crea gruppi rappresentativi per categorizzare gli elementi. Nel sistema per rinforzo, la rete apprende attraverso interazioni con l'ambiente, cercando di ottenere risultati desiderati tramite politiche di incentivi e disincentivi.

3.3 Differenza tra ML e DL

Le principali differenze tra Machine Learning (ML) e Deep Learning (DL) riguardano il formato dei dati iniziali e il tipo di compiti che possono svolgere. ML utilizza dati strutturati e codificati, mentre il DL utilizza dati grezzi e liberi. L'ML si applica principalmente a compiti di routine, mentre il DL si occupa di compiti più complessi.

3.4 YOLO

YOLO (You Only Look Once) è un algoritmo di rilevamento e riconoscimento degli oggetti in immagini o video in tempo reale. È stato introdotto nel 2015 e ha subito diverse versioni e miglioramenti nel tempo. YOLO utilizza reti neurali per rilevare oggetti noti attraverso una sola propagazione in avanti nella rete, permettendo la previsione di probabilità di classe e bounding box in un'unica volta. Nel corso degli anni, YOLO ha visto diverse revisioni e nuove versioni, risultando in aggiornamenti sempre più precisi e veloci. Prima di YOLO, i metodi comuni per il rilevamento oggetti includevano le R-CNN (Cable News Network), ma erano lenti e meno adatti alle applicazioni in tempo reale. Il primo passo che effettua l'algoritmo è la divisione in griglie dell'immagine ogni cella appartenente a una dimensione definita $L \times L$, se in questa cella avviene il rilevamento parziale di un oggetto seguirà la regressione della bounding box. La Bounding Box (BB) è un rettangolo che evidenzia l'oggetto interessato, le informazioni principali corrispondono a, larghezza (w), altezza (h), classe di appartenenza dell'oggetto identificato (c) e la posizione (w, h) del centro del rettangolo rispetto all'intera immagine. Tale identificazione avviene in una sola regressione identificando tutti gli elementi della bounding box. Il passaggio finale è effettuato tramite IoU, dove YOLO mira a delimitare l'intero perimetro dell'oggetto individuato. Le diverse versioni di YOLO, come YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5, PP-YOLO, YOLOv6, YOLOv7 e YOLOv8, hanno introdotto miglioramenti significativi. Ad esempio, YOLOv8, la versione considerata per questa tesi, ha modificato la strategia di addestramento per migliorare l'accuratezza del rilevamento in tempo reale senza aumentare il costo dell'inferenza. Introduce nuovi metodi come "estensione" e "ridimensionamento composto" per migliorare l'efficacia dei parametri e dei calcoli. YOLOv7 e v8 sono state progettate con nuovi metodi di addestramento e ridimensionamento del modello per migliorare la velocità e la precisione del riconoscimento degli oggetti in tempo reale. Con YOLOv7, è stata raggiunta una precisione del 56,8%, rispetto a tutti gli altri rilevatori d'oggetti superiori a 30 FPS. migliorare l'efficacia dei parametri e dei calcoli. In sintesi, YOLO è un potente algoritmo di rilevamento oggetti che ha visto un evolversi costante nel tempo, mantenendo una forte presenza nelle applicazioni di visione artificiale grazie alla sua efficienza e precisione. Uno studio fatto nel 2023 dove si visionano modelli di rilevazione che sono stati usati anche per l'identificazione di malattie o danneggiamenti di grappoli d'uva, dove si mette a confronto tre modelli di YOLO, verificando YOLOv7 come il più accurato. Lo studio aveva come obiettivi l'individuazione dei singoli grappoli quando sono significativamente più vicini; individuazione di grappoli con strutture particolari; previsione dei grappoli sovrapposti; classificazione dei grappoli danneggiati in condizioni difficili di visibilità. (Santos, 2023)

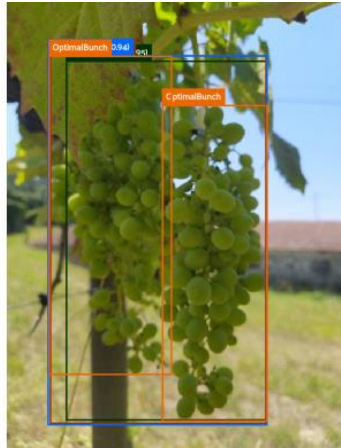


Figura 15 Identificazione grappoli

YOLO può essere anche utilizzato per stimare il livello di maturità di a varietà di uva utilizzando immagini ad alta risoluzione. L'obiettivo è facilitare l'informazione gestione della vite mediante metodi di agricoltura di precisione, compresa la determinazione del tempo di raccolta ottimale e valutazione dei livelli di maturità dell'uva per la futura pianificazione agricola e le operazioni da effettuare. Sulla base della valutazione del set di dati. Inoltre, per migliorare le capacità del sistema di raccolta, è possibile incorporare tecniche di apprendimento per stimare i valori di parametri importanti come pH, Brix (contenuto di zucchero) e peso del grappolo. (Badeka, 2023)

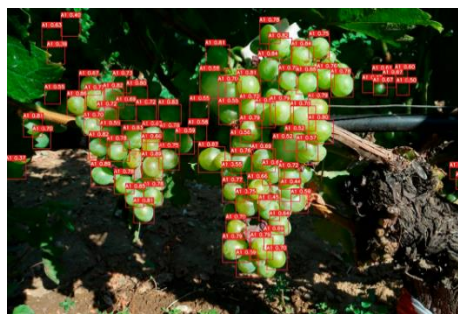


Figura 16 Analisi per valutazione stato di maturità

Oltre alle applicazioni in viticoltura, modelli di questo tipo possono essere usati per l'identificazione di malattie del grano come la fusariosi della spiga (Fusarium Head Blight FHB), è una delle infezioni più comuni e distruttive del grano e rappresenta una seria minaccia per la sicurezza alimentare e la salute umana. Il rilevamento in tempo reale e la valutazione della gravità dell'FHB del grano sono cruciali per una gestione efficace e una valutazione delle perdite. I risultati convalidano l'efficacia del modello YOLOv5 migliorato per il rilevamento in tempo reale dei picchi FHB del grano. Questo studio contribuisce allo sviluppo di impianti accurati ed efficienti sistemi di rilevamento delle malattie e fornisce un prezioso riferimento per un'accurata valutazione quantitativa delle perdite di raccolto garantendo così la sicurezza alimentare (Feng, 2024)

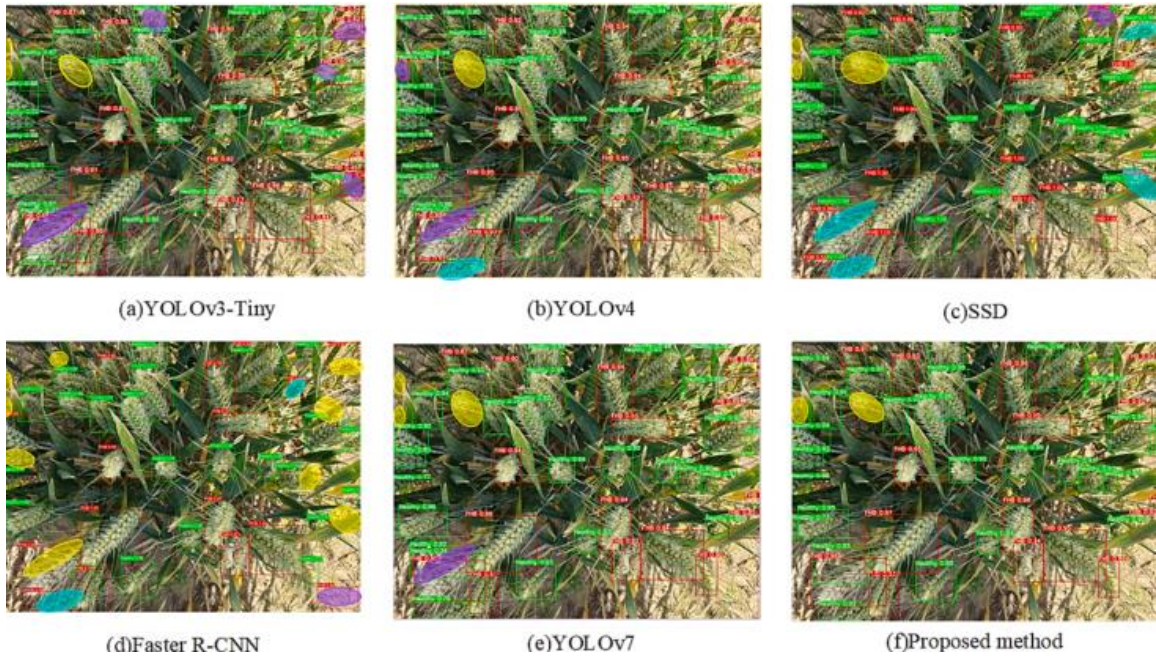


Figura 17 confronto tra varie versioni di YOLO per l'identificazione della malattia

CAPITOLO 4 – MATERIALI E METODI

4.1 Obiettivo della tesi:

Durante l'annata 2023 presso il dipartimento TeSAF dell'Università di Padova è stato sviluppato un dispositivo in grado di validare un modello di riconoscimento dei sintomi di flavescenza dorata in condizioni reali di campo basato su YOLOv8. L'obiettivo di questa tesi è quello di valutare le performance del modello a seguito di un nuovo allenamento con le immagini acquisite in nuove aree di studio. Le malattie identificate sono Flavescenza Dorata e Mal dell'Esca.

4.2 Area di studio

Le Colline del Prosecco di Conegliano e Valdobbiadene, situate nel nord-est dell'Italia, sono un paesaggio unico caratterizzato da colline, terrazzamenti coltivati a vigneto. Questo territorio è stato plasmato e adattato dall'uomo per secoli, e sin dal 17° secolo l'uso dei terrazzamenti ha dato origine a un particolare paesaggio a scacchiera, con filari di viti paralleli e verticali rispetto alla pendenza. Il paesaggio a mosaico è il risultato di pratiche agricole rispettose dell'ambiente che utilizzano in modo virtuoso il territorio. I piccoli vigneti sui terrazzamenti convivono con boschetti, siepi e alberi. La presenza della flavescenza dorata si concentra nelle coltivazioni con impianti ad alta densità di piante. In Italia esistono le zone a identificazione geografica, come le colline del prosecco situate nella zona di Conegliano e Valdobbiadene, in queste zone sono presenti, tendenzialmente, le stesse tipologie di vitigno, come il Glera, uva atta alla produzione di Prosecco DOCG (Denominazione di Origine Controllata Garantita). La zona in questione dove sono state svolte le ricerche si trova a Collalbrigo, una frazione del comune di Conegliano, l'area interessata si sviluppa per circa quattro ettari sui cinque totali di proprietà dell'azienda dove sono state fatte le fotografie, in zona sia pianeggiante che collinare, delineati dalla linea rossa di confine.



Figura 18 Appezamenti monitorati a Collalbrigo di Conegliano (TV)

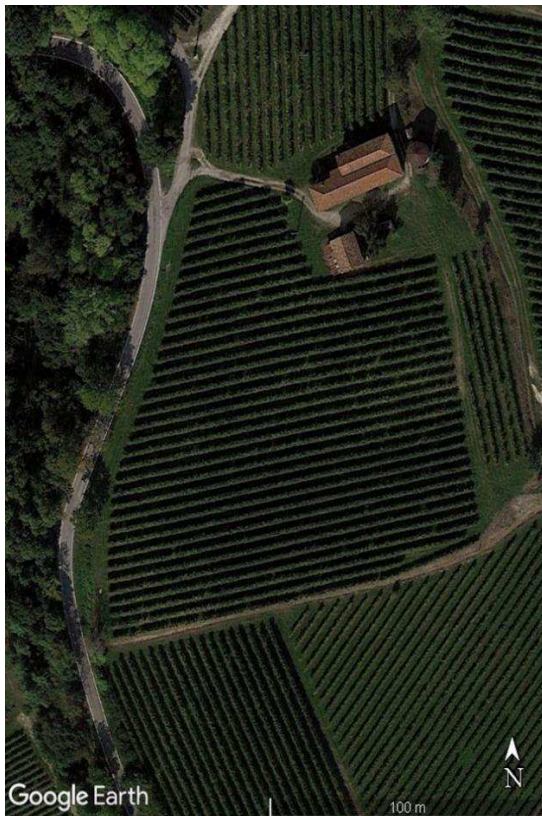
Le fotografie sono state realizzate presso l'azienda agricola Marcon Giuseppe. I monitoraggi sono stati eseguiti su 4 ettari circa di Glera, all'interno dell'azienda c'è una variabilità notevole d'età data dal fatto che negli anni sono state sostituite molte viti malate sia da flavescenza che mal dell'esca e anche altre malattie. I portinnesti utilizzati sia nell'impianto originale che le barbatelle per la sostituzione sono di Kober 5BB (Berlandieri x Riparia), allevate secondo il sistema di allevamento chiamato Sylvoz. Il sesto d'impianto è vario, ci sono appezzamenti dove sono state fatte le osservazioni che hanno diverse misure tra le file e tra i pali, si hanno 3.5m x 3.5m e altri da 4m x 4m. i vigneti visionati non sono in blocco unico ma suddivisi in sei appezzamenti divisi da capezzagne. Attorno all'area descritta sono presenti altri vigneti con diversi proprietari. La sfida sta nel compiere assieme, negli stessi giorni, i trattamenti insetticidi per massimizzare l'effetto del principio attivo.

4.3 Danni della flavescenza dorata sul territorio

Questo territorio è una chiara manifestazione di quanto questa malattia abbia influito sulle rese ettaro e su quanto abbia una forte influenza sulla mortalità delle piante di viti. Qui di seguito abbiamo dei chiari esempi di come sono cambiati i vigneti nel territorio i quali per diversi motivi di trattamenti eseguiti nei momenti sbagliati rispetto alle fasi di sviluppo della cicalina, non hanno avuto alcun effetto sul bersaglio che dovevano colpire e quindi i

viticoltori sono andati a sprecare i prodotti utilizzati avendo poi anche ripercussioni sulla sostenibilità ambientale ed economica. Nei tre esempi si può ben notare che ci sono aree dove mancano intere parti di vigneto e altre parti più frastagliate dove mancano singole piante. Le foto a sinistra rappresentano l'anno 2018, prima che la malattia prendesse il sopravvento e diventasse un problema così sentito nel territorio, le foto a destra descrivono la situazione del 2022 dove si notano i danni causati dalla malattia e la gravità di essa. Queste immagini rappresentano in maniera significativa la trasformazione che ha avuto questo territorio in così poco tempo a causa di questa malattia in tutta l'area della Marca Trevigiana e soprattutto l'area del Conegliano-Valdobbiadene prosecco superiore DOCG.

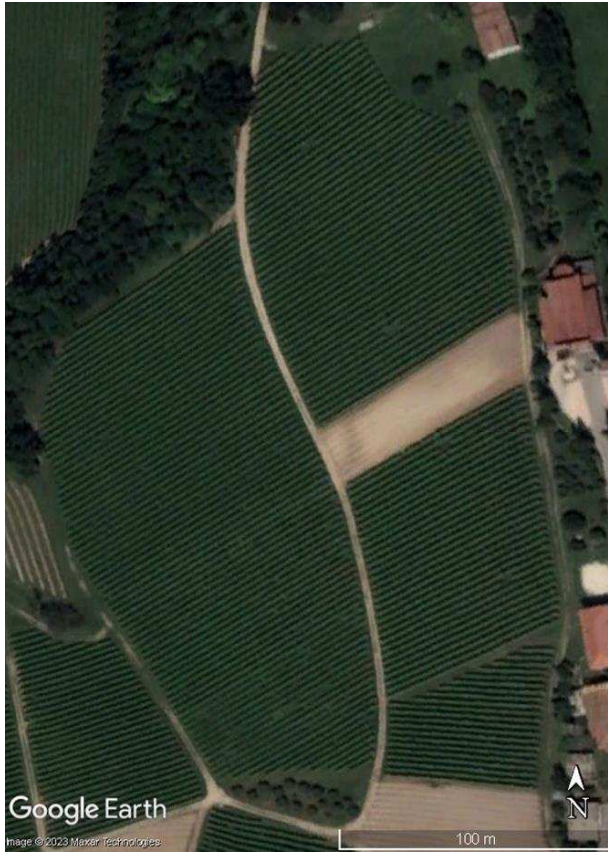
2018



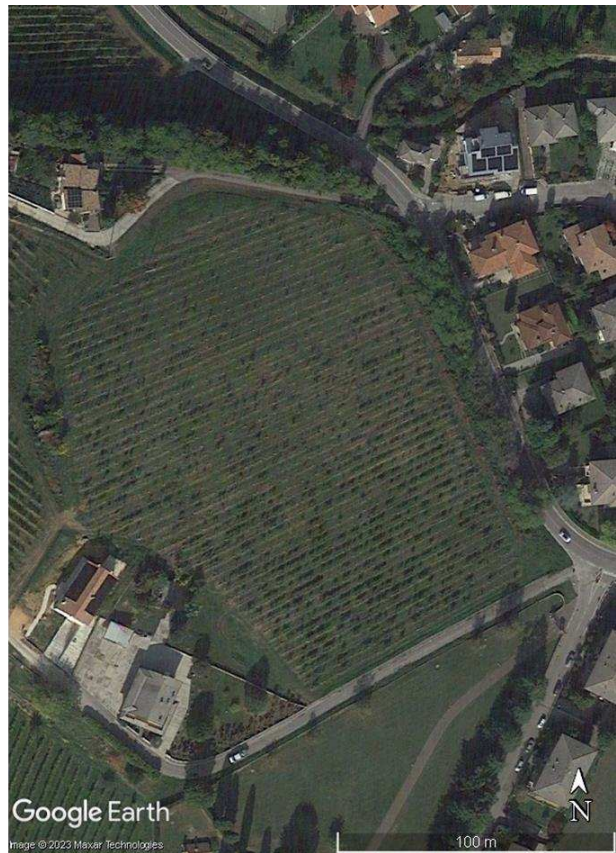
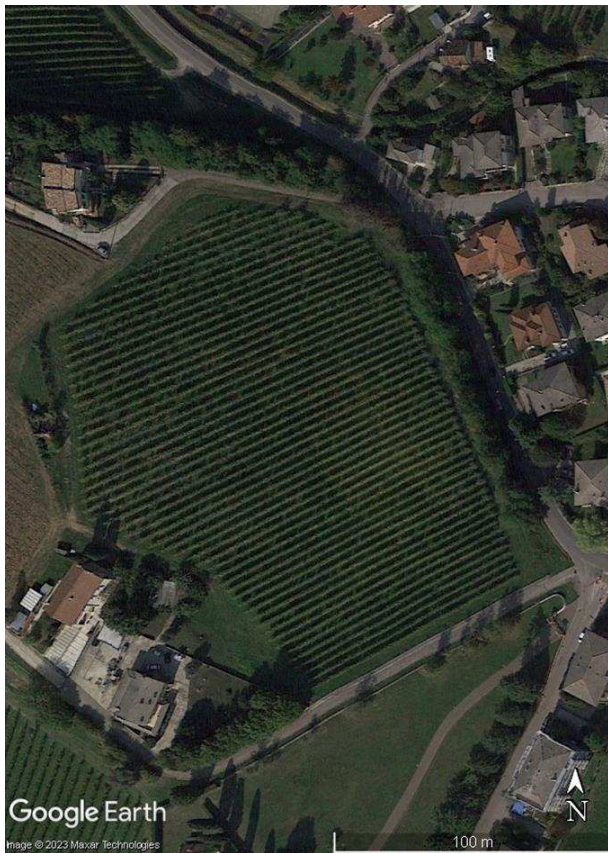
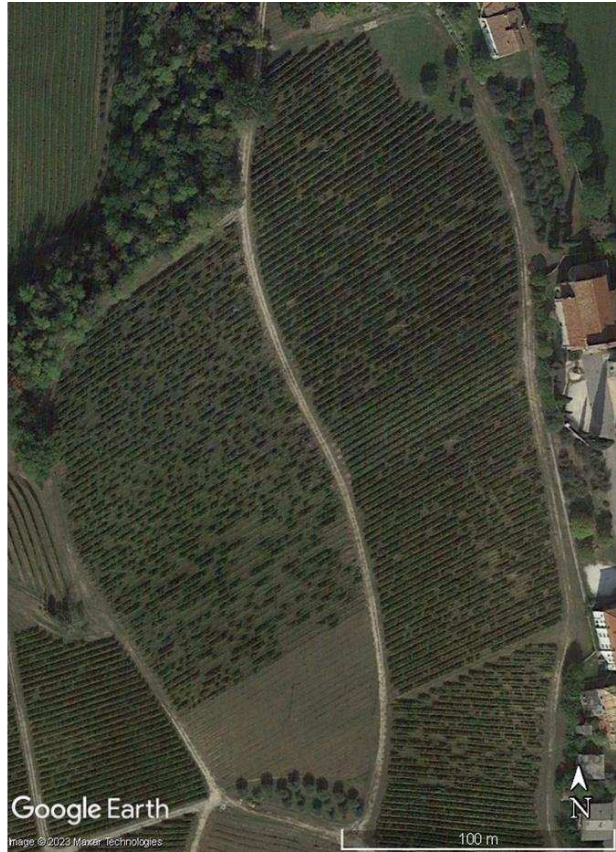
2022



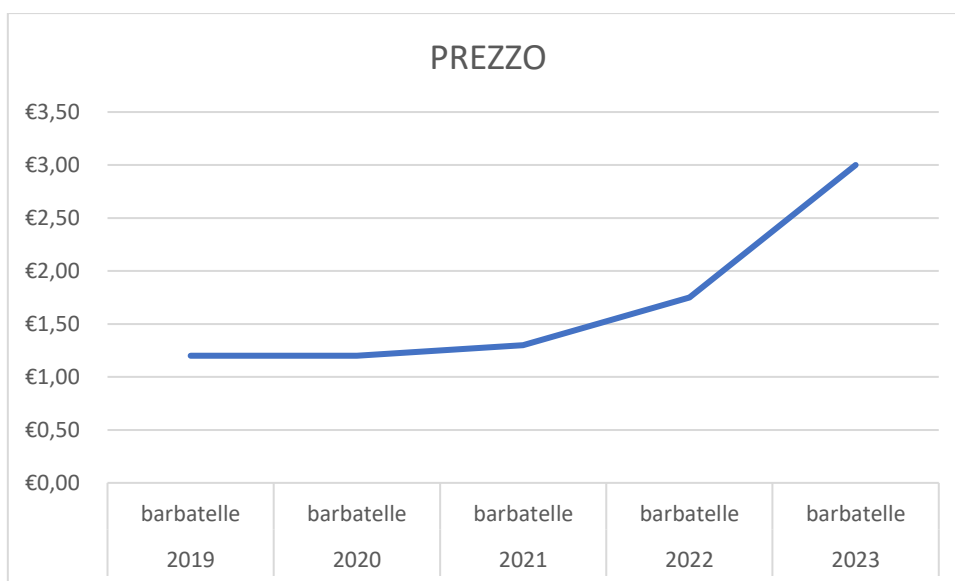
2018



2022



4.3.1 Impatto economico della Flavescenza: l'esempio del costo delle barbatelle



Andamento del prezzo di acquisto di barbatelle dal 2019 al 2023. Dati forniti dall'azienda agricola Marcon Giuseppe, Conegliano (TV).

Il grafico mostra la crescita di prezzo dal 2019 al 2023 per singola barbatella di varietà Glera, si è passati da 1.20€ a 3.00€ al pezzo. Questa crescita è sicuramente giustificata dall'aumentare della domanda da parte dei viticoltori per il rimpiazzo delle viti morte a causa della flavescenza dorata che come visto prima ha dimezzato nel migliore dei casi, se non azzerato del tutto il numero di ceppi per vigneto. Questo grafico fa capire quanto questa malattia abbia avuto ripercussioni su tutto il comparto viticolo. Oltre al prezzo c'è stato anche l'aumento riguardante la sostenibilità per la produzione e la lavorazione (impianto, trattamenti, espianto, lavorazioni post impianto), ricordando che per l'ottenimento di queste piantine occorrono 2 anni di lavoro. Sulla base dei dati raccolti si stabilisce che l'incremento percentuale dal 2019 al 2023 è del 200%. I prezzi presi in considerazione sono esclusi di IVA.

4.4 Dataset

Partendo dal presupposto che più elementi ci sono in un dataset, più il modello risulterà preciso, questi elementi devono racchiudere con più precisione possibile i sintomi senza disturbi da altre fonti. Il dataset è stato composto tramite il monitoraggio di piante di vite di Glera a Collalbrigo di Conegliano, nella zona del Conegliano-Valdobbiadene prosecco superiore DOCG, con l'individuazione di 120 fotografie di piante sintomatiche aventi sintomi visibili di flavescenza dorata e mal dell'esca. Dopo l'acquisizione di fotografie di piante malate, sono state fatte 300 foto di piante che non avevano sintomi. Le fotografie sono state fatte nel periodo che va dalla fine dell'allegagione dei grappoli verso la metà di giugno fino alla fase post vendemmiale di fine settembre. Le fotografie sono state acquisite tutte da circa un metro di distanza e dove non è stato possibile a circa cinquanta centimetri di distanza per verificare al meglio i sintomi. Le condizioni metereologiche in cui sono state acquisite le fotografie sono piuttosto simili, prevalentemente in condizioni soleggiate. I vigneti dove sono stati fatti i rilevamenti sono disposti con orientamento Nord-Sud, quindi in base all'ora in cui il rilievo è stato eseguito, la parete fogliare è stata direttamente illuminata oppure completamente all'ombra e controluce. Lo strumento che è stato utilizzato per la raccolta delle fotografie è stato uno smartphone. Il dettaglio più importante è la ricerca delle sintomatologie simili e la forzatura nel dimostrare che corrispondono ad un altro risultato. Nel caso di questo progetto le caratteristiche simili corrispondono alle decolorazioni, soprattutto quelle più accentuate nelle nervature, corrispondente al mal dell'esca. Insieme alle malattie simili è giusto considerare tutte quelle malattie in campo, classiche fungine, Peronospora e le scottature, che vengono classificate come "altre" senza, quindi, rendere meno preciso o rallentare il modello dedicato alla FD. Per l'identificazione delle immagini è stato usato il modello YOLOv8 precedentemente allenato e a seguito del nuovo allenamento. Per l'etichettatura invece è stato usato YOLO Label il quale permette di andare ad indentificare parti delle foglie all'interno delle fotografie realizzate che corrispondono ai sintomi della malattia, tramite dei riquadri di diversa grandezza e colore, determinati dagli assi x e y coordinati per l'angolo superiore sinistro e di nuovo gli assi x e y per l'angolo in basso a destra che vanno a formare un quadrato dove all'interno c'è la parte di foglia da analizzare. Per distinguere i diversi sintomi sono stati necessari due colori, i riquadri di colore verde indicano la flavescenza dorata invece quelli rossi il mal dell'esca. la caratteristica di questo lavoro permette di usare i riquadri di determinazione, oltre il fatto che è veloce e facile da usare. Il programma ha bisogno di un dataset con le indicazioni, delle foto senza etichetta e un file con il nome degli oggetti da etichettare.

Oltre alle immagini acquisite a Collalbrigo riportanti essenzialmente sintomi di Flavescenza Dorata su foglie di Glera, nel dataset sono state inserite anche 400 immagini acquisite in diversi vigneti in provincia di Treviso riportanti sintomi di Mal dell'Esca, 20 immagini con sintomi di Flavescenza Dorata fornite dal Consorzio Prosecco DOC e 660 immagini del dataset COCO. Queste ultime immagini, raffiguranti oggetti, animali, persone in ambienti vari, sono state inserite per diminuire la presenza di falsi positivi.

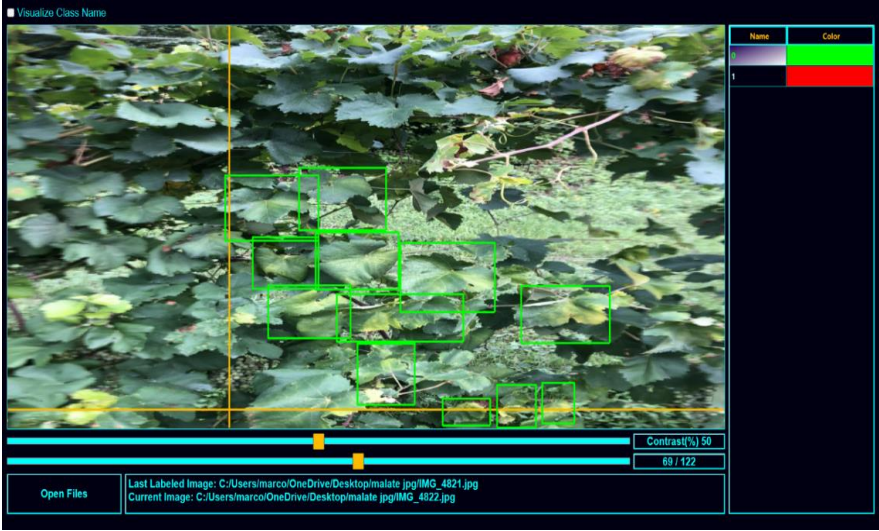
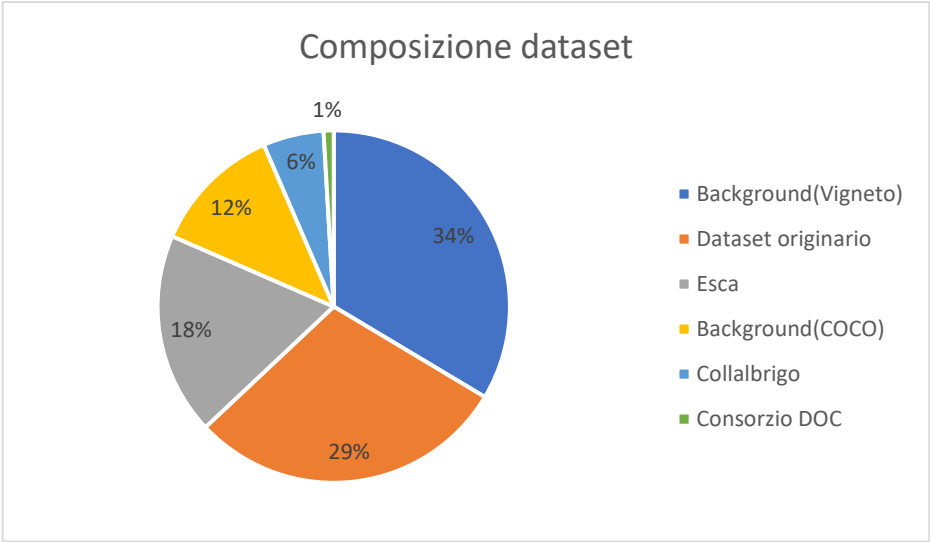


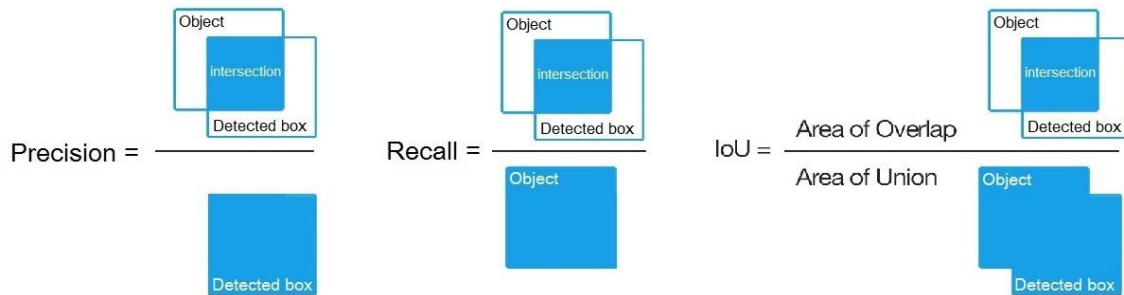
Figura 19 Etichettatura flavescenza dorata



Figura 20 Etichettatura mal dell'esca

CAPITOLO 5 – RISULTATI E DISCUSSIONE

Nella fase di validazione del modello, vengono solitamente utilizzati dei campioni estranei agli elementi usati per le altre due fasi in modo da creare un ambiente diverso da quello di allenamento per una più completa interpretazione dello stesso. Utilizzando la validazione possiamo visualizzare le statistiche inerenti.



Formule schematiche per il calcolo delle metriche
(Fonte: <https://i.stack.imgur.com/JlHnn.jpg>)

Precision e Recall

La *Precision* (Precisione) e *Recall* (Richiamo) sono valori utilizzati insieme per valutare le prestazioni dei sistemi di classificazione. La precisione è definita come la frazione di istanze pertinenti tra tutte le istanze recuperate. Il richiamo, invece, è indicato come la sensibilità, ovvero, la frazione di istanze recuperate tra tutte le istanze rilevanti. Un classificatore perfetto ha precisione e richiamo entrambi uguali a 1.



Schema precisione e recall

La precisione e la sensibilità sono spesso correlate inversamente, quando migliora la precisione tendenzialmente peggiora la sensibilità del modello. Importante è trovare un punto di equilibrio oppure ci saranno pochi risultati ma molto precisi oppure tanti risultati

e poco precisi. Quindi il tutto va adattato alle necessità del caso. Entrambi vanno calcolate con i valori relativi a *mAP50*.

La *precisione* è il rapporto tra il numero delle previsioni corrette di un evento (classe) sul totale delle volte che il modello lo prevede. Quando un modello è preciso per una classe, ogni volta che prevede l'evento sbaglia raramente. I falsi positivi sono pochi. Potrebbe però non prevedere tutti gli eventi ossia non essere selettivo/sensibile. I falsi negativi potrebbero essere molti anche se il modello è preciso.

$$Precisione = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Positive}$$

Il *richiamo* misura la sensibilità del modello. È il rapporto tra le previsioni corrette per una classe sul totale dei casi in cui si verifica effettivamente. Quando un modello è sensibile per una classe, lo prevede ogni volta che si verifica. Potrebbe però prevederlo anche quando non si verifica. I falsi positivi potrebbero essere molti.

$$Richiamo = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Negative}$$

IoU (intersect over union)

Intersezione su unione è una metrica di valutazione utilizzata per misurare l'accuratezza di un rilevatore di oggetti su un particolare set di dati. In genere lo IoU viene utilizzato per valutare le prestazioni dei rilevatori di oggetti e dei rilevatori di reti neurali convoluzionali tra cui YOLO, tuttavia, l'algoritmo effettivo che viene utilizzato per generare le previsioni non ha importanza perché lo IoU è semplicemente una metrica di valutazione. Infatti, qualsiasi algoritmo che genera riquadri di delimitazione di previsione come output può essere valutato utilizzando questa valutazione.

Per applicare la formula dello IoU e per valutare un rilevatore di oggetti sono necessari i riquadri di delimitazione reali inseriti manualmente nel processo di test che indicano dove si trova l'oggetto nello spazio del campione. Successivamente servono i riquadri individuati dal modello. Se sono presenti questi set di riquadri allora si può calcolare lo IoU, il quale alla fine è solo un'equazione.

La formula dello IoU ha come numeratore l'area di sovrapposizione tra il riquadro di delimitazione previsto e il riquadro di delimitazione della verità fondamentale, al denominatore, invece, l'area racchiusa dal riquadro di delimitazione previsto dal modello sommata al riquadro di delimitazione inserito manualmente previamente. Dividendo le due aree si ottiene l'intersezione sull'unione.

$$IoU = \frac{Area\ sovrapposta\ dei\ riquadri}{Area\ di\ unione\ dei\ riquadri}$$

mAP (mean Average Precision)

Dopo che il modello è stato addestrato o messo a punto sul dataset di addestramento, viene modificato in base a quanto si comporta rispetto ai dati di convalidazione e test. La scelta della metrica o statistica di valutazione dipende dal tipo di problema e dalla sua applicazione rispetto al modello in questione.

La metrica più utilizzata per i problemi di rilevamento degli oggetti è il mAP (punteggio medio di precisione medio). Poiché nel rilevamento degli oggetti l'obiettivo non è solo quello di classificare correttamente gli oggetti nell'immagine, ma anche di trovare dove si trova nell'area dell'immagine, quindi, non si può semplicemente utilizzare le metriche di classificazione dell'immagine come Precisione e Richiamo. Il mAP viene calcolato prendendo l'AP¹ medio su tutte le classi e/o le soglie IoU complessive, a seconda delle diverse sfide di rilevamento esistenti.

$$mAP = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=n} AP_k$$

Punteggio F1

Utilizzando la curva del punteggio F1, è possibile visualizzare l'equilibrio tra precisione e richiamo e determinare un punto di progettazione migliore per ogni allenamento del modello. Per comprendere il calcolo del punteggio F1, dobbiamo prima esaminare una matrice di confusione².

Il punteggio F1 è una metrica di valutazione del machine learning che misura l'accuratezza di un modello. Combina i punteggi di precisione e richiamo di un modello. La metrica di accuratezza calcola quante volte un modello ha effettuato una previsione corretta nell'intero set di dati. Questa può essere una metrica affidabile solo se il set di dati è bilanciato per classe; ovvero, ogni classe del set di dati ha lo stesso numero di campioni. Tuttavia, i set di dati del mondo reale sono fortemente sbilanciati in classi, rendendo spesso questa metrica impraticabile. L'accuratezza calcola quante volte un modello ha effettuato una previsione corretta nell'intero set di dati.

$$F1 = 2 \cdot \frac{\textit{precisione} \cdot \textit{richiamo}}{\textit{precisione} + \textit{richiamo}}$$

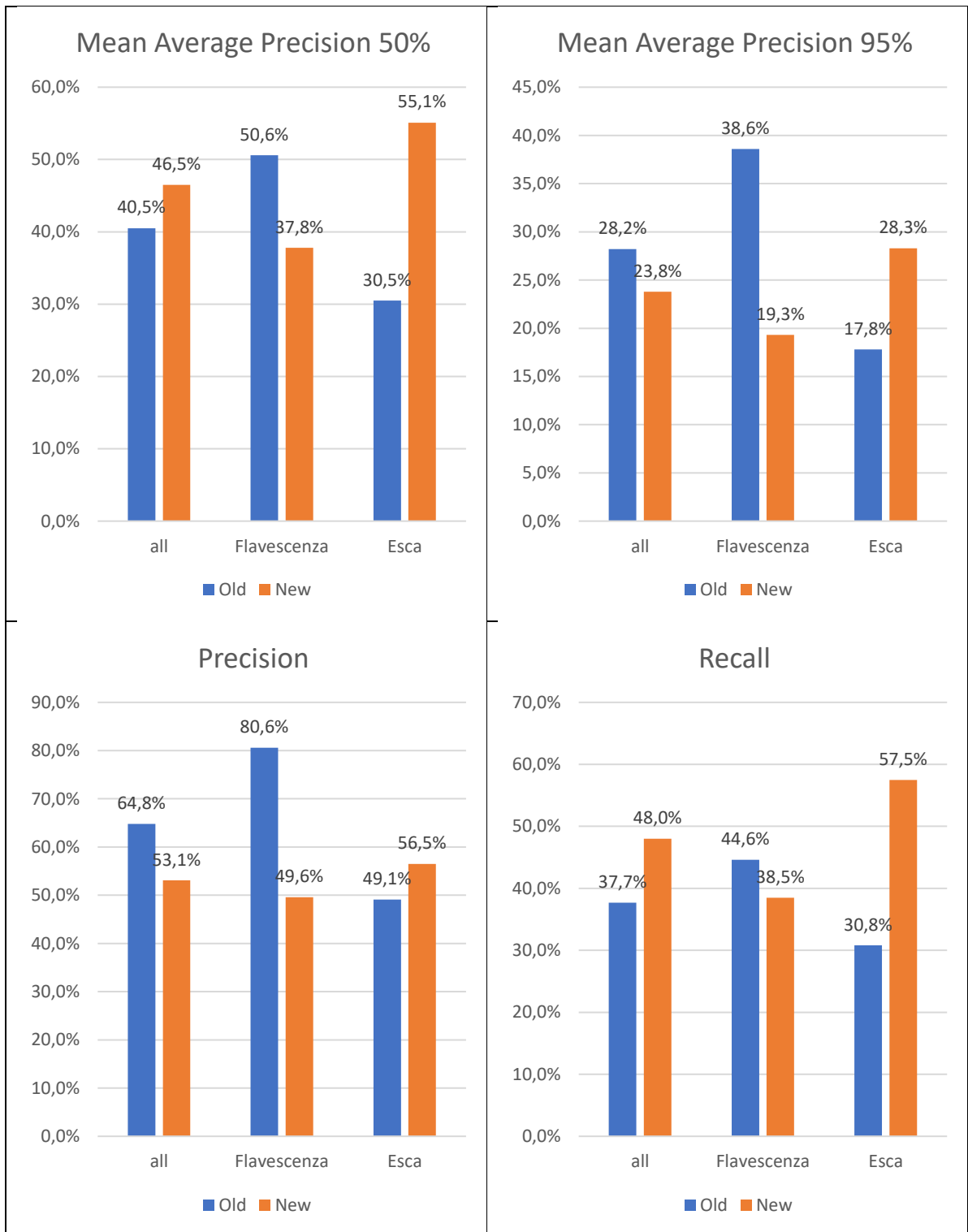
Tenendo conto che la precisione e il richiamo offrono un compromesso, ovvero che una metrica varia a scapito dell'altra, una maggiore precisione comporta un giudizio più severo che dubita anche dei campioni effettivi positivi dal set di dati, riducendo così il punteggio di richiamo. D'altra parte, un maggiore richiamo comporta un giudizio lassista che consente il passaggio di qualsiasi campione che assomigli a una classe positiva, il che rende i campioni negativi classificati come "positivi", riducendo così la precisione. Il punteggio F1 combina precisione e richiamo usando la loro media armonica, e massimizzare il punteggio F1 implica massimizzare contemporaneamente sia la precisione che il richiamo. Pertanto, il punteggio F1 è la scelta corretta per valutare i modelli.

Il nuovo allenamento è stato eseguito in Google Colab con GPU A100 dotata di 40 GB di RAM per 200 epoche. L'allenamento è stato eseguito su un dataset di train corrispondente al 70% del dataset precedentemente descritto e validato su un dataset di validazione corrispondente al 25% del precedente. Il test delle performance è stato eseguito su un dataset di test composto dal restante 5%.

Class	mAP50	mAP50-95
all	0.452	0.224
Flavescenza	0.388	0.186
Esca	0.516	0.262

Risultati del train

Una volta eseguito il train si è proceduto a valutare le performance sul dataset di test usando il modello originario e usando il nuovo modello allenato sul dataset descritto. Di seguito sono riportati i risultati.



Il confronto delle metriche calcolate sul dataset di test (98 immagini) ha permesso di identificare un incremento della mAP50 del 14.8% (da 40.5% a 46.5%). Per la classe FD tutte le metriche risultano diminuite, mentre per la classe ME i valori risultano aumentati.

Modello originale



Nuovo modello

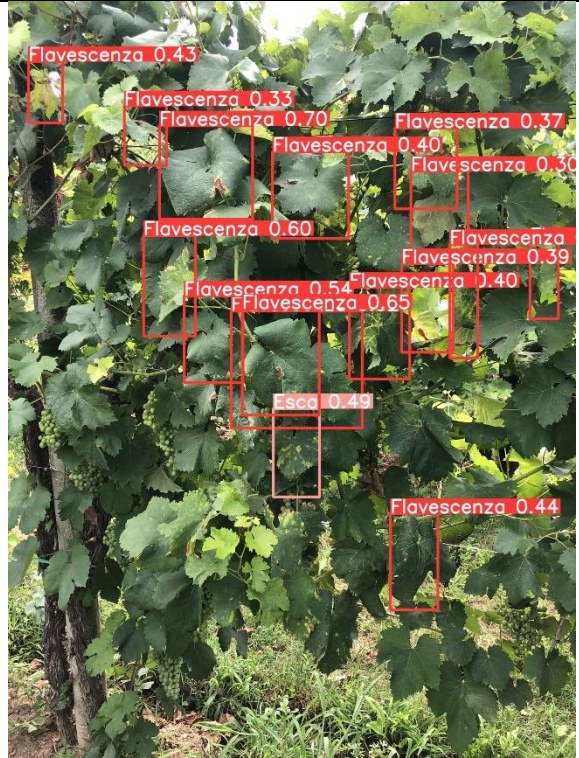


Immagine prova 1



Immagine prova 2



Immagine prova 3



Immagine prova 4

L'analisi delle immagini acquisite a Collalbrigo classificate con il modello precedente e con il nuovo modello ha dato invece risultati differenti. Sebbene mAP50 della classe FD sia inferiore, il nuovo modello classifica in maniera migliore la presenza di sintomi di FD. Tale discrasia tra metriche e immagini è dovuta al fatto che le metriche tengono in considerazione una IoU del 50% e danno maggiore importanza alla localizzazione delle foglie. Ai fini pratici invece la posizione delle foglie non è importante, mentre risulta esserlo l'identificazione dei fotogrammi con foglie compromesse. Ci sono comunque errori di classificazione: ne è un esempio l'immagine prova 3, in cui foglie di fitolacca vengono classificate come FD.

Il dataset utilizzato per l'allenamento e la validazione del modello comprendeva immagini provenienti da diverse fonti: 724 immagini di sfondo (vigneto), 634 immagini dal dataset originario, 400 immagini di Esca, 258 immagini di sfondo (COCO), 120 immagini da Collalbrigo, e 20 immagini fornite dal Consorzio DOC. A 50% IoU (mAP50), il nuovo modello ha mostrato un miglioramento generale rispetto al modello vecchio: da 0.40 a 0.46 per tutte le categorie, da 0.50 a 0.37 per la Flavescenza, e da 0.30 a 0.55 per l'Esca. A 95% IoU (mAP95), si è osservata una leggera diminuzione nelle prestazioni del nuovo modello: da 0.28 a 0.23 per tutte le categorie, da 0.38 a 0.19 per la Flavescenza, e da 0.17 a 0.28 per l'Esca. La precisione del nuovo modello ha mostrato un lieve decremento per le categorie "all" e "Flavescenza" (da 0.64 a 0.53 e da 0.80 a 0.49, rispettivamente), ma un aumento per la categoria "Esca" (da 0.49 a 0.56). Il richiamo del nuovo modello ha migliorato per le categorie "all" e "Esca" (da 0.37 a 0.48 e da 0.30 a 0.57, rispettivamente), mentre per la categoria "Flavescenza" si è osservata una leggera diminuzione (da 0.44 a 0.38). Questi dati mostrano un miglioramento complessivo nelle prestazioni del nuovo modello, specialmente nell'identificazione della categoria "Esca", che ha visto un notevole aumento sia in termini di precisione sia di recall. Tuttavia, per la categoria "Flavescenza", vi è stato un calo di precisione e un leggero calo di recall, indicando che il nuovo modello potrebbe essere meno efficace nel rilevare specificamente questa malattia rispetto al modello precedente.

CONCLUSIONI

La ricerca condotta in questa tesi ha avuto come obiettivo principale la validazione di un sistema innovativo per il riconoscimento dei sintomi di Flavescenza Dorata nella vite, utilizzando tecniche avanzate di intelligenza artificiale e apprendimento profondo. L'approccio adottato ha combinato una comprensione approfondita delle patologie della vite con l'applicazione di metodi tecnologici all'avanguardia, in particolare l'utilizzo dell'algoritmo YOLO per il rilevamento degli oggetti. Il sistema sviluppato ha dimostrato una capacità significativa nel rilevare i sintomi della Flavescenza Dorata nei vigneti. Attraverso l'uso di reti neurali e l'analisi di immagini, si è ottenuta una precisione elevata nella distinzione tra le piante sane e quelle affette da questa patologia. Un aspetto critico della ricerca è stato distinguere i sintomi della Flavescenza Dorata da altre malattie simili. Il modello ha mostrato efficacia nel riconoscere e differenziare tra varie condizioni

patologiche, contribuendo così a una diagnosi più accurata e tempestiva. La ricerca ha messo in luce gli impatti economici significativi della Flavescenza Dorata, come l'aumento del costo delle barbatelle e le perdite di produzione. L'approccio tecnologico adottato può aiutare a mitigare questi impatti attraverso un rilevamento precoce e una gestione più efficace della malattia.

L'applicazione di tecniche di intelligenza artificiale nel riconoscimento delle malattie delle piante apre nuove prospettive nel campo dell'agricoltura di precisione. Questo studio dimostra come l'innovazione tecnologica possa essere un valido strumento nella lotta contro le patologie delle colture, portando a una maggiore efficienza nella gestione delle risorse e nella protezione dell'ambiente. Sebbene il sistema di rilevamento abbia mostrato risultati promettenti, è importante riconoscere le limitazioni del metodo attuale, come la necessità di un dataset più ampio e diversificato per migliorare ulteriormente l'accuratezza del modello. L'approccio proposto non solo migliora la capacità di rilevamento e gestione delle malattie delle piante ma contribuisce anche alla sostenibilità a lungo termine dell'agricoltura, affrontando le sfide poste dal cambiamento climatico e dalla crescente domanda di cibo.

BIBLIOGRAFIA

- Pertot, I., Dagostin, S. I. L. V. I. A., Ferrari, A. L. E. S. S. A. N. D. R. O., Gobbin, D. A. V. I. D. E., Prodorutti, D. A. N. I. E. L. E., & Gessler, C. E. S. A. R. E. (2007). La peronospora della vite. Istituto agrario di San Michele all'Adige.
- Angeli, D., & Pertot, I. (2007). L'oidio della vite. Istituto agrario di San Michele all'Adige.
- Mescalchin, E., Michelotti, F., & Vindimian, M. E. (1986). Flavescenza dorata della vite. *Terra Trentina*, 31(9), 36-38.
- Sancassani, P., Posenato, G., & Mori, N. (1997). La flavescenza dorata nel Veneto. *Informatore Agrario*, 53, 65-68.
- Vindimian, M. E., Mescalchin, E., Dal Rì, M., Filippi, M., Delaiti, L., Capra, L., & Lucin, R. (1993). Ulteriore conoscenza sulla flavescenza dorata. *Terra Trentina*, 39(8), 22-27.
- DORATA, S. D. F. (2014). Flavescenza dorata della vite sotto controllo nel Trevigiano.
- Colosio, C. L. A. U. D. I. O., & Moretto, A. N. G. E. L. O. (2010). I prodotti fitosanitari. In *Manuale di medicina del lavoro e igiene industriale per tecnici della prevenzione* (pp. 161-169). Piccin.
- Belli G., Assante G., Pietro A., Casati P., Cortesi P., Faoro F., Iriti M., Saracchi M., Sardi P., Vercesi A. (2011). *Elementi di patologia vegetale*. Piccin
- Bertaccini, A., Duduk, B., Paltrinieri, S., & Contaldo, N. (2014). Phytoplasmas and phytoplasma diseases: a severe threat to agriculture. *American Journal of Plant Sciences*, 2014.
- CORAZZA, M. (2021). *Epidemiologia e controllo della Flavescenza dorata*.
- Vieri, M., & Rimediotti, M. (2012). Prodotti fitosanitari. Rischi e corretto impiego. Cap. 7 Le macchine. In *Prodotti fitosanitari. Rischi e corretto impiego* (pp. 93-108). Centro Stampa Giunta Regionale Toscana, Firenze.
- Del Bosco, G. F. (1963). Ricerche sulla clorosi ferrica dei fruttiferi. *Rivista di ortoflorofruitticoltura italiana*, 37-49.
- Pii, Y., Zamboni, A., Pandolfini, T., & Varanini, Z. (2012). Characterization of Mg deficiency in three rootstocks of *Vitis vinifera*. In *Abstracts Magnesium in crop production, food quality and human health* (pp. 32-32).
- Mori, N., Milanese, L., Bondavalli, R., & Botti, S. (2005). Prove di contenimento del Legno nero della vite. *Petria*, 15(1/2), 137-140.
- Marzachi, C. (2006). *IL LEGNO NERO DELLA VITE*.
- Stefan Cristian, Prazaru & D'Ambrogio, Lisa & Cero, Martina & Rasera, Mirko & Cenedese, Giovanni & Guerrieri, Enea & Pavasini, Marika & Mori, Nicola & Pavan, Francesco & Duso, Carlo.

(2023). Efficacy of Conventional and Organic Insecticides against *Scaphoideus titanus*: Field and Semi-Field Trials. *Insects*. 14. 101. 10.3390/insects14020101.

Germano Moreira, Sandro Augusto Magalhães, Filipe Neves dos Santos and Mário Cunha (2023). Automated Infield Grapevine Inflorescence Segmentation Based on Deep Learning Models

Isabel Pinheiro, Germano Moreira, Daniel Queirós da Silva, Sandro Magalhães António Valente, Paulo Moura Oliveira, Mário Cunha and Filipe Santos(2023). Deep Learning YOLO-Based Solution for Grape Bunch Detection and Assessment of Biophysical Lesions

Badeka, E., Karapatzak, E., Karampatea, A., Bouloumpasi, E., Kalathas, I., Lytridis, C., ... & Kaburlasos, V. G. (2023). A Deep Learning Approach for Precision Viticulture, Assessing Grape Maturity via YOLOv7. *Sensors*, 23(19), 8126.

SITOGRAFIA

<https://it.winetwork.eu/>

[https://www.regione.veneto.it/web/agricoltura-e-foreste/flavescenza-dorata_old#:~:text=La%20Flavescenza%20dorata%20%C3%A8%20una,MLO%20%2D%20mycoplasma%20like%20organism\).](https://www.regione.veneto.it/web/agricoltura-e-foreste/flavescenza-dorata_old#:~:text=La%20Flavescenza%20dorata%20%C3%A8%20una,MLO%20%2D%20mycoplasma%20like%20organism).)

Grazie alla mia famiglia, ai miei amici e a tutte le persone che ho incontrato per il sostegno dato e per non aver mai smesso di credere in me.