



Gestione razionale dell'irrigazione  
basata su visione artificiale



# PROGETTO IRRIVISION

## Un sistema di visione artificiale per l'irrigazione di precisione

La risorsa idrica è limitata e contesa tra diversi settori: è pertanto fondamentale operare un continuo miglioramento e aggiornamento dei sistemi e delle tecniche di gestione irrigua. Ciò significa da una parte potenziare l'efficienza di adattamento, possibilmente optando per sistemi di subirrigazione correttamente dimensionati, dall'altra supportare la gestione aziendale con soluzioni tecnologiche in grado di fornire una stima precisa delle necessità irrigue e di dare indicazioni sui momenti corretti per irrigare. IRRIVISION mira a colmare questo gap, proponendo un sistema di monitoraggio completo, in grado di integrare informazioni climatiche e misure sulla chioma della pianta direttamente riferibili al suo stato idrico

Lo studio presentato è stato supportato dal PSR 2014/2020 Regione Veneto – Misura 16.1.1 – 16.1.2 – DGR Veneto nr. 736/2018, PROGETTO IRRIVISION-Gestione razionale dell'irrigazione basata su visione artificiale. Si ringraziano le Aziende Le Rive, Sagrivit e Villa Sandi per la collaborazione alle sperimentazioni.



di F. GAIOTTI<sup>1</sup>, D. VICINO<sup>2</sup>, A. CAGNIN<sup>1</sup>, N. BELFIORE<sup>1</sup>, M. LUCCHETTA<sup>1</sup>, E. BORSATO<sup>3</sup>, P. MARCUZZO<sup>1</sup>, N. VICINO<sup>2</sup>, M. MINERVINI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro di Ricerca Viticoltura ed Enologia – <sup>2</sup>CET Electronics – <sup>3</sup>Consorzio di Bonifica Piave

La stagione viticola 2022, caratterizzata da temperature estremamente elevate e da una prolungata siccità, ha imposto notevoli difficoltà nella gestione del vigneto. A livello nazionale le precipitazioni da inizio anno hanno fatto registrare valori inferiori quasi del 50% rispetto alla media. Il Veneto non fa eccezione a questa tendenza: considerando il periodo ottobre 2021 - agosto 2022, nella regione sono caduti solo 630 mm a confronto con un valore medio negli ultimi 20 anni pari a 1.023 mm. È evidente che in condizioni climatiche estreme, quali quelle che hanno caratterizzato l'annata corren-

te, la disponibilità idrica e la possibilità di operare interventi di irrigazione nei momenti più critici della stagione (vedi fasi di germogliamento, fioritura-allegagione) sono risultati fattori determinanti per il raggiungimento degli obiettivi produttivi e qualitativi dell'azienda vitivinicola. I dati raccolti dal CREA VE nell'ambito di alcune prove sperimentali in corso in alcuni areali veneti dimostrano in modo evidente che, nelle aziende in prova, disponibilità idriche limitate hanno determinato l'instaurarsi di condizioni di stress che hanno compromesso in modo significativo sia la produzione che i parametri qualitativi delle uve (Tabella1).

Alla luce di questo e nella prospettiva paventata da diversi modelli climatici di un ulteriore riscaldamento e una diminuzione delle precipitazioni, con eventi di siccità sempre più frequenti e/o gravi nel bacino del Mediterraneo (Spinoni et al., 2016), appare evidente che l'impiego dell'irrigazione rappresenti non una scelta, ma una necessità per garantire la sostenibilità economica dell'azienda viticola. Si deve tuttavia fare i conti con il fatto che la risorsa idrica è limitata e contesa tra diversi settori: è pertanto fondamentale operare un continuo miglioramento e aggiornamento dei sistemi e delle tecniche di gestione irrigua. Ciò significa da una parte potenziare l'efficienza di adattamento, possibilmente optando per sistemi di subirrigazione correttamente dimensionati, dall'altra supportare la gestione aziendale con soluzioni tecnologiche in grado di fornire una stima precisa delle necessità irrigue e di dare indicazioni sui momenti corretti per irrigare.

**TABELLA 1** - Risultati produttivi e qualitativi rilevati in alcuni vigneti nel Trevigiano dove sono in corso prove di gestione irrigua nell'ambito del progetto IRRIVISION. In ciascuna azienda sono state comparate parcelle irrigate secondo i protocolli irrigui aziendali, dove si è operato per mantenere le viti in uno stato idrico ottimale, e parcelle non irrigate, salvo interventi limitati a condizioni di stress estremamente severo, tale da pregiudicare la vitalità delle piante

Parametro	Glera Nervesa della Battaglia (Tv)		Chardonnay Santa Maria di Piave (Tv)		Pinot grigio Spresiano (Tv)	
	Irrigazione aziendale	Non irrigato	Irrigazione aziendale	Non irrigato	Irrigazione aziendale	Non irrigato
Produzione/pianta (Kg)	10,2	5,6	6,2	3,4	4,7	1,8
Peso medio grappolo (g)	269	193	128	83	135	87
Solidi solubili (Brix)	16,4	17,7	18,5	15,4	20,0	17,8
Acidità titolabile (g/l)	6,9	4,6	8,1	6,8	5,8	5,9
pH	3,16	3,32	3,20	3,23	3,20	3,25

## Il Progetto IRRIVISION

Il Progetto IRRIVISION risponde specificatamente a queste esigenze, proponendosi di fornire una tecnologia innovativa per l'irrigazione di precisione in vigneti e frutteti. I comuni sistemi di supporto decisionale (DSS) utilizzati per guidare l'irrigazione in vigneto impiegano principalmente sensori climatici in grado di monitorare la temperatura, le precipitazioni e l'umidità del suolo, mentre parametri misurati direttamente sulla pianta e che possono essere correlati al suo stato idrico sono scarsamente utilizzati. IRRIVISION mira a colmare questo gap, proponendo un sistema di monitoraggio completo, in grado di integrare informazioni climatiche e misure sulla chioma della pianta direttamente riferibili al suo stato idrico. La tecnologia sviluppata da CET Electronics si basa su un dispositivo di visione stereo che raccoglie immagini 3D della chioma, con una termocamera a infrarossi integrata (Fig.1).

Le misure innovative che il sistema riesce a ricavare sono:

► **SUPERFICIE E VOLUME FOGLIARE.** Grazie alla ricostruzione 3D della chioma (Fig.2) il sistema è in grado di ricavare misure di superficie e volume fogliare utili per ottimizzare il calcolo dei consumi evapotraspirativi della pianta. Ciò consente di ottenere una stima più precisa dei fabbisogni idrici del vigneto, in funzione delle reali condizioni di sviluppo vegetativo delle viti;



Fig. 1 - Un innovativo dispositivo di visione artificiale raccoglie immagini 3D della chioma utili per la stima dello stato idrico della vite (foto: Copyright CET Electronics).

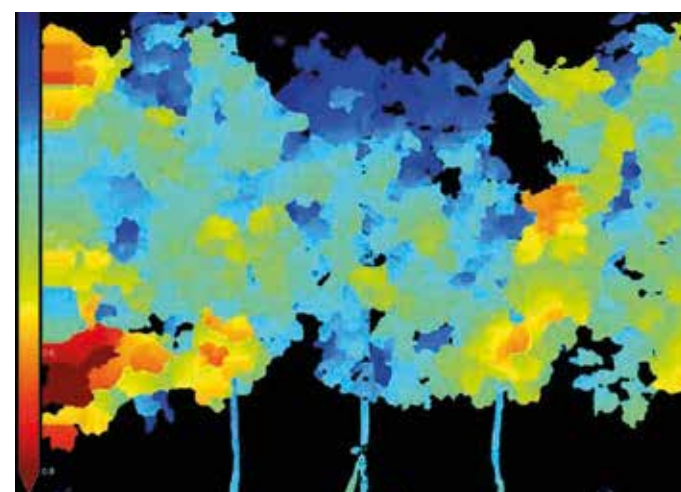
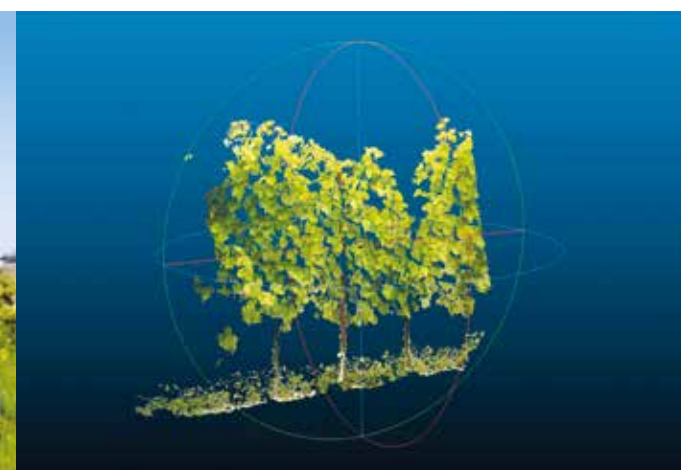


Fig. 2 - Immagine 3D della chioma elaborata dal sistema di visione: la scala cromatica rappresenta la distanza in metri tra i pixel della vegetazione e la stereocamera (foto: Copyright CET Electronics)



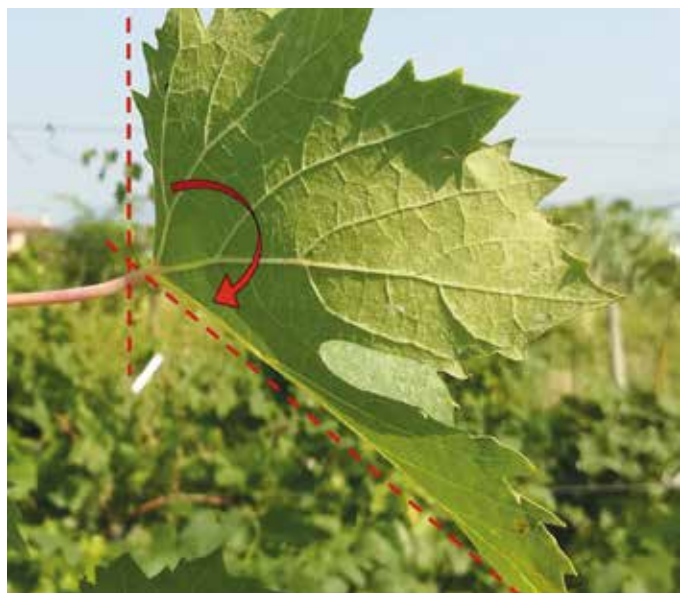


Fig. 3 - Un incremento dell'inclinazione fogliare può rappresentare un segnale di stress idrico

➔

► **INCLINAZIONE FOGLIARE.** Studi pregressi hanno riportato che in condizioni di stress idrico alcune varietà rispondono con una variazione nel portamento vegetativo della chioma, incrementando l'inclinazione verso il basso delle foglie (Fig.3), (Palliotti et al. 2008, Briglia et al., 2020). Il sistema proposto è in grado, a partire dall'immagine 3D della chioma, inquadrando 2-3 piante campione, di rilevare in automatico un certo numero di foglie ben visibili (da 30 a 100 circa) e di calcolarne l'inclinazione come angolo tra la normale al piano fogliare e lo zenit, restituendo un valore di inclinazione media.

► **TEMPERATURA FOGLIARE.** Esiste una correlazione accertata tra stato idrico della vite e temperatura fogliare, evidenziata da un aumento termico della chioma in risposta a condizioni di stress idrico (Belfiore et al., 2019). Il sistema di visione è integrato con un sensore termico (termocamera) che misura la temperatura fogliare nella porzione di vegetazione inquadrata (Fig.4) restituendo un valore termico medio.

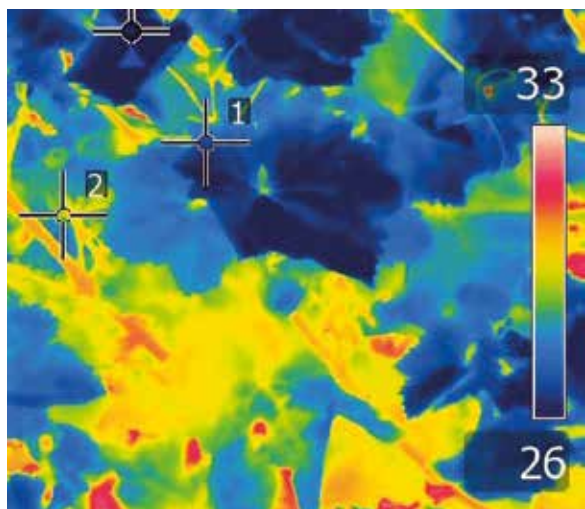
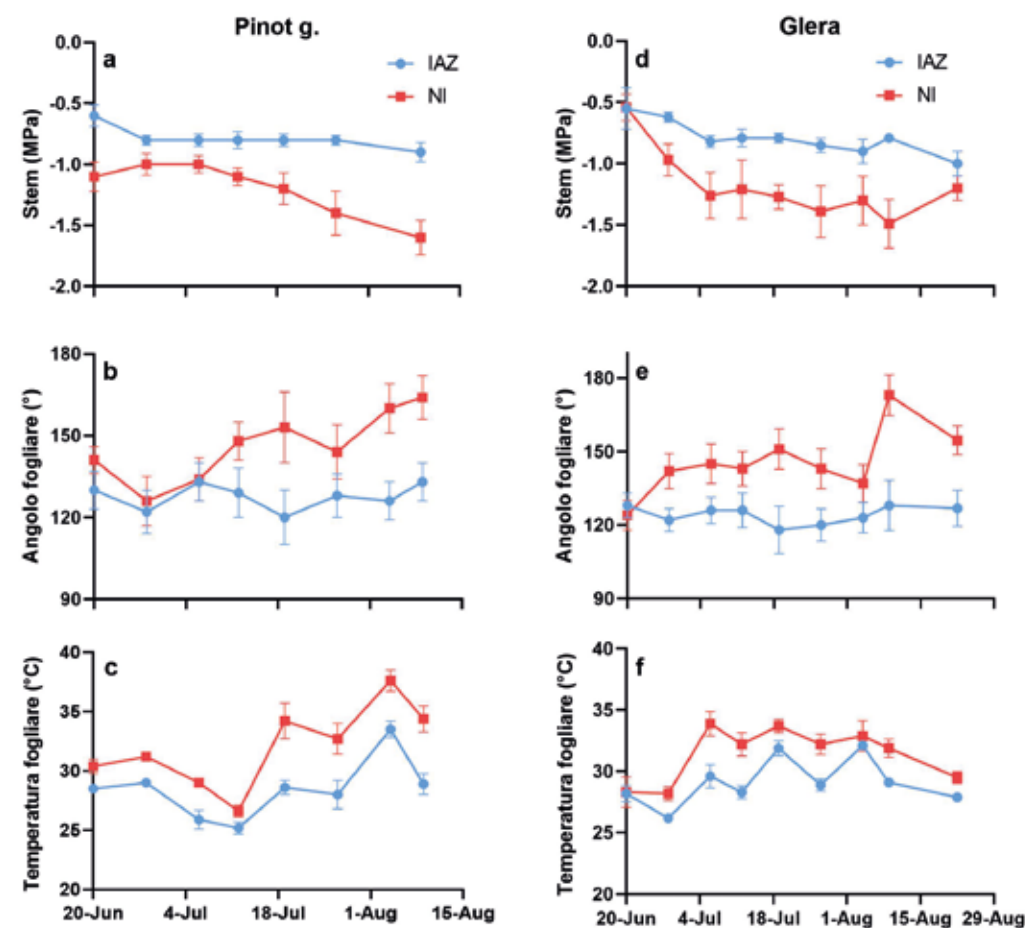


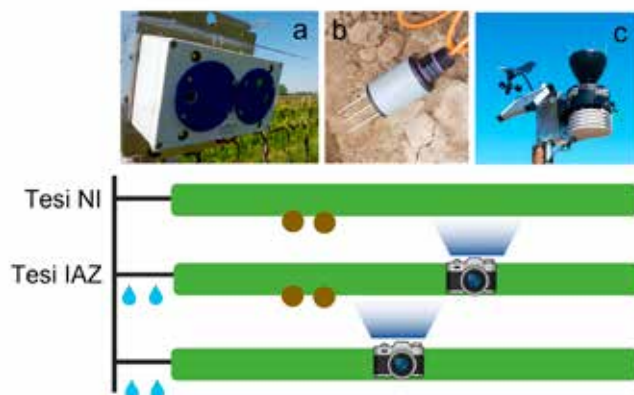
Fig. 4 - Fotografia della chioma scattata con termocamera: a colori differenti corrispondono diverse temperature

Fig. 6 - Andamento dei valori registrati manualmente nel corso della stagione 2022 in Pinot.g e Glera relativi a: potenziale idrico stem (a, d), inclinazione fogliare, espressa come angolo tra l'asse principale della lamina fogliare rispetto allo zenit, (b, e); temperatura fogliare media (c, f). Tesi: IAZ-irrigazione aziendale; NI-non irrigata.



## Set up delle prove

Fig. 5 - Configurazione delle parcelle sperimentali nei vigneti dove sono state svolte le prove. Ogni sito è stato dotato di: 2 stereocamere (a) che inquadrano lateralmente i filari delle tesi (IAZ-irrigazione aziendale e NI-non irrigata); sensori di umidità del suolo (b) posizionati a 30 e 60 cm di profondità; sensori di bagnatura fogliare, T, UR all'interno della chioma; una stazione meteo completa per il rilevamento di temperatura, pioggia, vento e umidità (c)



La sperimentazione per testare e validare il sistema di visione artificiale è stata avviata in provincia di Treviso, presso l'azienda capofila (Az. Le Rive - Santa Maria di Piave) e le aziende partner del progetto (Az. Sagrivit - Spresiano; Az. Villa Sandi - Nervesa della Battaglia). I vigneti sono caratterizzati da diversi tipi di suoli e varietà di vite (rispettivamente, Chardonnay, Pinot grigio e Glera). In ogni sito sperimentale sono state selezionate due parcelle con un minimo di 30 viti e assegnate ai seguenti due trattamenti: irrigazione aziendale (IAZ) gestita secondo i protocolli aziendali con l'obiettivo di mantenere le viti in uno stato idrico ottimale; non irrigata (NI), gestita per imporre uno stress idrico progressivo, con interventi irrigui eseguiti solo

in condizioni di stress estremamente severo. In ogni parcella è stato installato un sistema completo attrezzato con stereocamere e sensori per il clima e l'umidità del suolo, al fine di raccogliere immagini e dati dai due trattamenti durante l'intera stagione vegetativa (Fig. 5).

Gli obiettivi di questa prima fase sperimentale sono stati: i) analizzare la relazione tra i parametri della chioma (inclinazione fogliare e temperatura) e lo stato idrico della pianta, verificando la possibilità di un loro utilizzo quali indicatori di stress; ii) validare la capacità del sistema di visione di rilevare correttamente questi parametri della chioma in campo.

A tal fine, nel corso del triennio 2020-2022 nel periodo giugno-agosto si è monitorato lo stato idrico delle piante misurando ogni 7-10 giorni il potenziale idrico del germoglio a mezzogiorno (stem). Nelle stesse date, le misure di inclinazione e temperatura fogliare sono state raccolte sia in automatico dalla stereocamera che manualmente, al fine di validare i dati elaborati dal sistema. Di seguito si riportano i risultati relativi all'annata 2022.

## Risultati

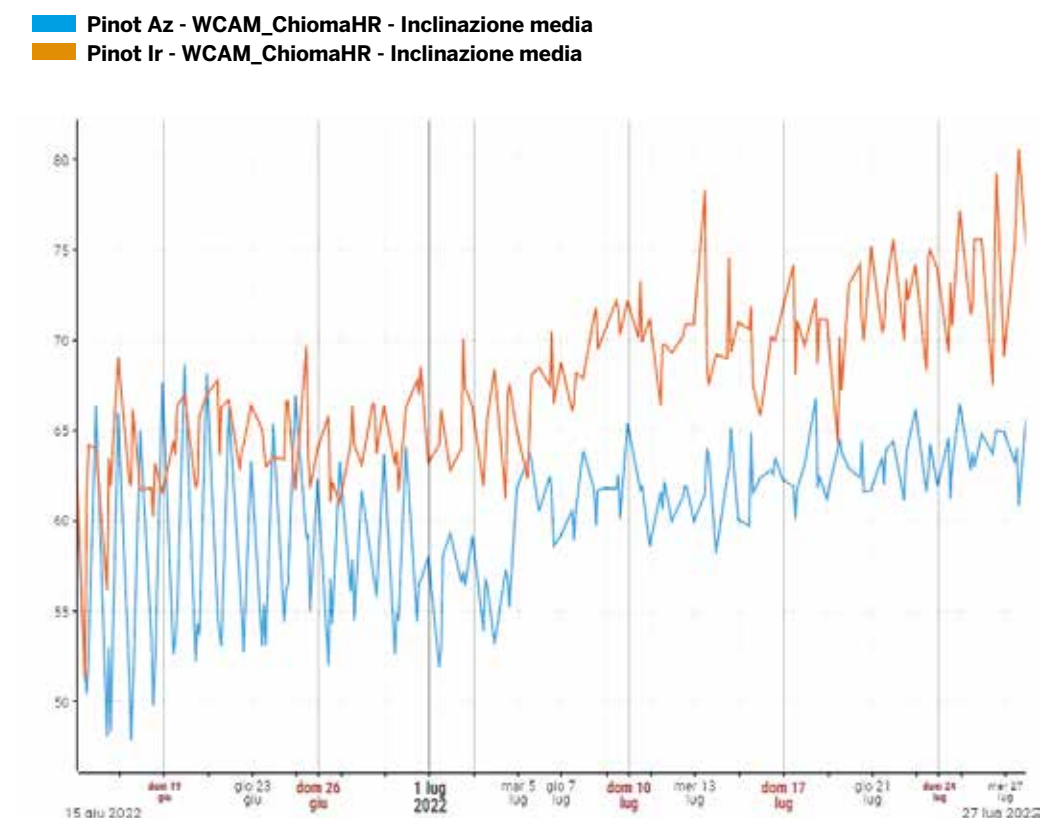
In linea con l'andamento climatico dell'area in esame, i dati raccolti nella stagione 2022 hanno evidenziato che, in assenza di interventi irrigui, in tutti i siti sperimentali si sono verificate condizioni di stress idrico. Focalizzando l'attenzione sulle varietà Pinot.g. e Glera (Fig.6), i valori di potenziale nelle tesi non irrigate hanno indicato uno stress lieve-moderato nei rilievi di giugno (stem > -1.1 Mpa), con un decremento nei mesi di luglio e agosto, dove si sono registrati in più date valori riferibili a uno stress intenso (stem < -1.3 Mpa). Al contrario, le tesi irrigate (IAZ) hanno mantenuto per tutto il periodo potenziali più elevati (-0.5 / -1 Mpa), indice di uno stato idrico ottimale o di leggero stress. Come sopra riportato, il primo obiettivo della sperimentazio-

ne è stato quello di analizzare la risposta dei parametri della chioma (inclinazione e temperatura fogliare) allo stato idrico della pianta. A tale fine, i dati di inclinazione e temperatura fogliare sono stati rilevati manualmente e analizzati in relazione all'andamento del potenziale idrico nelle tesi a confronto. Relativamente all'inclinazione fogliare, i dati in Fig. 6b-e mostrano che per le tesi irrigate (IAZ) l'angolo fogliare si è mantenuto pressoché costante nel corso della stagione, con valori mediamente compresi tra 120°-132° (foglie leggermente inclinate rispetto al piano orizzontale). Viceversa, nelle tesi non irrigate (NI) l'angolo è aumentato al progredire dello stress idrico. Nei momenti di stress più severo i valori di inclinazione fogliare sono risulta-

ti compresi tra 150°-160° per il Pinot.g. e 150°-170° per il Glera, indicando la tendenza della foglia a inclinarsi maggiormente verso il basso e ad assumere una posizione quasi verticale. L'analisi della correlazione tra angolo fogliare vs potenziale idrico ha evidenziato una elevata significatività in entrambe le varietà (p < 0.001), confermando che questo parametro risponde prontamente a variazioni nello stato idrico della pianta. Relativamente alla misura della temperatura fogliare, i dati in Fig.6c-f evidenziano che anche questo parametro risulta influenzato dallo stato idrico della pianta. Comparando le tesi irrigate e non, in entrambe le varietà l'assenza di irrigazione ha determinato valori termici della chioma superiori di 1-5°C in quasi tutte le date della stagione.

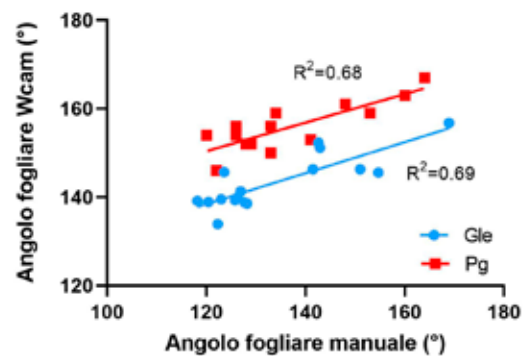
Il secondo step della sperimentazione ha previsto la validazione della capacità del sistema di visione artificiale di rilevare ed elaborare correttamente i parametri di inclinazione e temperatura fogliare in vigneto. L'andamento dei valori di angolo fogliare elaborati dalla videocamera ha dimostrato nel corso della stagione una buona corrispondenza con le misure manuali. La Fig.7, estratta dall'applicazione web "Aurora", che raccoglie i dati registrati dalla videocamera, evidenzia come, in linea con i dati manuali, la tesi non irrigata abbia riportato inclinazioni maggiori rispetto alla tesi irrigata, con angoli fogliari crescenti all'intensificarsi dello stress idrico. Il sistema di visione ha dimostrato una tendenza a sovrastimare la misura dell'inclinazione, aspetto che dipende dalla na-

Fig. 7 - Grafico delle inclinazioni rilevate dalla stereocamera nelle tesi irrigata-IAZ (blu) e nella tesi non irrigata-NI (rosso) nella varietà Pinot grigio. I dati evidenziano come nel mese di luglio, all'intensificarsi dello stress idrico, la videocamera ha rilevato un incremento degli angoli fogliari nella tesi non irrigata. L'inclinazione è espressa come angolo tra il piano che meglio interpola la superficie della lamina fogliare rispetto al piano orizzontale



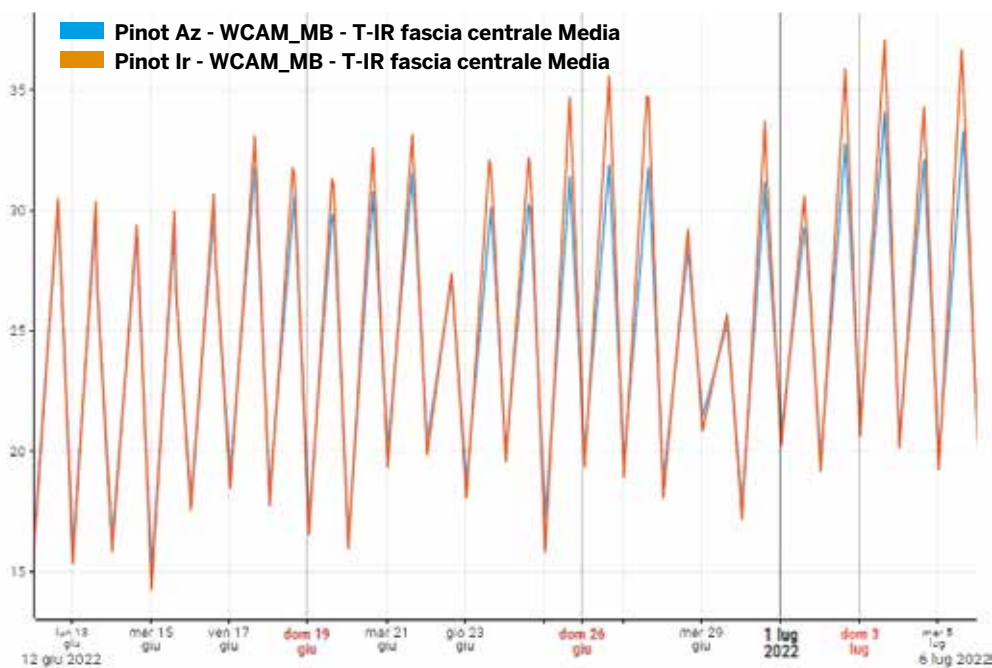


**Fig. 8** - L'analisi della correlazione tra gli angoli fogliari misurati manualmente e quelli registrati dalla videocamera ha evidenziato una buona corrispondenza dei dati sia in Glera ( $p < 0.0001$ ) che in Pinot g. ( $p < 0.0003$ )



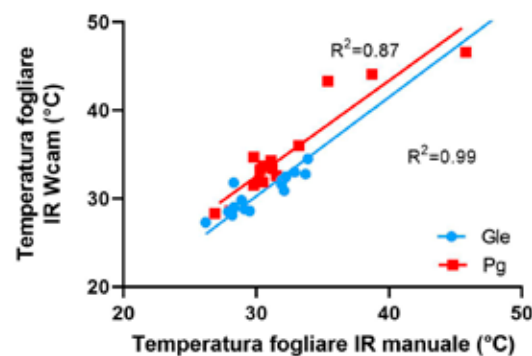
tura leggermente diversa della remisura automatica rispetto a quella manuale e che potrà essere migliorato ottimizzando l'algoritmo di calcolo applicato alle immagini. Nonostante ciò, le analisi comparative hanno dimostrato una correlazione altamente significativa tra misure manuali e strumentali in entrambe le varietà in esame (Fig. 8), confermando la capacità della stereocamera di rilevare correttamente variazioni di questo parametro della chioma.

Anche i dati di temperatura registrati dal sensore IR integrato alla videocamera hanno evidenziato una buona corrispondenza con le misure manuali, con valori diurni mediamente più elevati nelle tesi non irrigate durante tutta la stagione (Fig. 9). La regressione tra temperature manuali e temperature del sensore ha evidenziato un'eccellente corrispondenza dei dati, con una correlazione altamente significativa in entrambe le varietà (Fig. 10).



**Fig. 9** - Grafico delle temperature rilevate dal sensore termico integrato alla videocamera nelle tesi irrigate (blu) e non irrigate (rosso) nella varietà Pinot g. Nel mese di giugno, in presenza di stress nullo o lieve, la termocamera ha rilevato temperature fogliari simili, mentre al progredire dello stress il sensore ha registrato valori termici superiori di 1-4 °C nella tesi non irrigata

**Fig. 10** - L'analisi della correlazione tra le temperature registrate manualmente e quelle registrate dal sensore IR integrato alla videocamera ha evidenziato un'eccellente corrispondenza dei dati sia in Glera che in Pinot g. ( $p < 0.0001$ )



**BIBLIOGRAFIA**

Belfiore, N.; Vinti, R.; Lovat, L.; Chitarra, W.; Tomasi, D.; de Bei, R.; Meggio, F.; Gaiotti, F. Infrared Thermography to Estimate Vine Water Status: Optimizing Canopy Measurements and Thermal Indices for the Varieties Merlot and Moscato in Northern Italy. *Agronomy* 2019, 9, 821

Briglia, N., Williams, K., Wu, D., Li, Y., Tao, S., Corke, F., et al. (2020). **Image-Based Assessment of Drought Response in Grapevines.** *Front. Plant Sci.* 11, 1–12

Palliotti, A., Silvestroni, O., Petoumenou, D., Vignaroli, S., and Berrios, J. G. (2008). **Evaluation of low-energy demand adaptive mechanisms in sangiovese grapevine during drought.** *J. Int. des Sci. la Vigne du Vin* 42, 41–47

Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., and Barbosa, P. (2016). **Meteorological Droughts in Europe: Events and Impacts: Past Trends and Future Projections** No Title. Luxembourg

**Conclusioni**

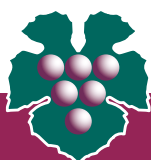
In sintesi, le attività sperimentali condotte nell'ambito del progetto hanno dato conferma che parametri della chioma quali la temperatura e l'inclinazione fogliare possono essere utilizzati quali indicatori dello stato idrico della pianta. Lo step successivo sarà l'elaborazione di un algoritmo in grado di integrare queste innovative misure della chioma con i dati di sviluppo vegetativo (superficie/volume fogliare), climatici e di umidità del suolo per il calcolo dei fabbisogni idrici del vigneto. L'approccio multiparametrico adottato in questa tecnologia mira ad offrire un sistema di supporto decisionale (DSS) ad alta efficienza, in grado di fornire stime significativamente più affidabili e precise di quelle basate esclusivamente sulla misura delle variabili climatiche-ambientali, nell'ottica di favorire un'irrigazione razionale del vigneto, rispondendo ai fabbisogni colturali senza sprechi di risorse.



**Barbatelle di qualità per un prodotto di qualità**



In Trentino, in un territorio unico per posizione e clima, moltiplichiamo più di 120 varietà da vino e 20 varietà da tavola che danno origine con un'ampia gamma di selezioni clonali innestate sui principali portinnesti, ad oltre 500 combinazioni per ogni esigenza. Dall'impegno, dal lavoro e dalla grande esperienza dei soci dei **Vivai Cooperativi di Padergnone** vengono moltiplicate le barbatelle che contribuiscono alla nascita dei migliori vini italiani



**VIVAI COOPERATIVI PADERGNONE**  
Soc. Coop. Agr.

Via Barbazan 19 - Padergnone, 38096 Vallelaghi (TN) Tel. 0461 864142 Fax 0461 864699 www.vicopad.it - info@vicopad.it

