POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Integrated Systems for the Environmental Sustainability of the Vineyard

Original
Integrated Systems for the Environmental Sustainability of the Vineyard / Trinchero, D., Colucci, G.P., Filipescu, E., MORA ZOPPI, J.C., Borgogno Mondino, E., Ghilardi, F., Virano, A.. - ELETTRONICO. - (2024), pp. 199-202. (XXVI Convegno Nazionale di Agrometeorologia. Approcci innovativi a supporto delle produzioni agrarie in un contesto climatico in evoluzione L'Aquila (Italia) 5 - 7 giugno 2024) [10.6092/unibo/amsacta/7718].

Availability:
This version is available at: 11583/2988599 since: 2024-06-10T08:54:48Z

Publisher:
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari - Università di Bologna

Published
DOI:10.6092/unibo/amsacta/7718

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

13 September 2026

INTEGRATED SYSTEMS FOR THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF THE VINEYARD

SISTEMI INTEGRATI PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEL VIGNETO

Daniele Trinchero[1*], Giovanni Paolo Colucci[1], Elena Filipescu[1], Juan Camilo Mora Zoppi[1], Enrico Borgogno Mondino[2], Federica Ghilardi[2], Andrea Virano[2]

[1] Politecnico di Torino - Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni - Corso Castelfidardo, 39, 10129 Torino TO
[2] Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari - Largo Paolo Braccini, 2, 10095, Grugliasco, TO
[*] daniele.trinchero@polito.it

Abstract
"Integrated Tools for the Environmental Sustainability of the Vineyard" is a collaborative project by Politecnico di Torino, DET, and Università degli Studi di Torino, DISAFA, with three Wine Consortia and 17 farms. Over 44 months in Piemonte, it deployed local agrometeorological sensors in Moscato grape vineyards. These compact, low-energy sensors, along with a custom microcontroller LoRa board, monitored air temperature and humidity, soil conditions, and more. The project also analyzed satellite data using Google Earth Engine, creating multi-temporal NDVI maps. UAV surveys with DJI Phantom 4 Multispectral assessed vineyard dynamics. This integrated approach compared drone and satellite data, mapping vineyard vegetation for the 2022-2023 seasons and evaluating Sentinel-2's usefulness in describing vineyard growth.

Parole chiave
Agrometeorologici; sensori; basso consumo; satellite; drone.
Keywords
Agrometeorological; Low-energy sensors; Remote Sensing; Satellite; UAV.

Introduzione

Il mondo dell'agricoltura, in particolare la viticoltura, al giorno d'oggi si affida in misura preponderante a dati meteorologici che devono essere accurati per prendere decisioni efficaci ed effettuare pratiche di gestione di precisione. Le condizioni meteorologiche influenzano direttamente la crescita delle colture, lo sviluppo delle malattie e la salute complessiva del vigneto. Tuttavia, ottenere informazioni meteorologiche precise e localizzate in ambienti rurali dei vigneti può essere non solo costoso ma anche difficile, specialmente laddove le stazioni meteorologiche tradizionali affrontano problemi di connettività a causa di una scarsa copertura digitale. Diverse soluzioni di tipo IoT (Internet-of-Things) sono state adottate negli ultimi anni per fornire soluzioni di tipo DSS (Decision Support System) (Vanezi et al. 2023) e per superare il divario digitale in ambiente rurale (Edwin et al. 2022; Langote et al. 2023).
Il progetto "Strumenti Integrati per la Sostenibilità Ambientale del Vigneto" è un progetto finanziato dalla Regione Piemonte che ha coinvolto il Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni (DET) del Politecnico di Torino, e il Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA) dell'Università degli Studi di Torino, insieme a tre consorzi vinicoli, 17 aziende agricole e 2 aziende per il trasferimento tecnologico e per la calibrazione della sensoristica, rispettivamente. Il progetto si avvale dell'utilizzo di dati raccolti da una rete di sensori wireless per l'agrometeorologia e dati ottenuti da sorvoli da drone e da immagini satellitari, mappando la vegetazione dei vigneti, ampliando le capacità di monitoraggio e gestione dei vigneti, migliorando la precisione delle pratiche agricole e promuovendo la sostenibilità ambientale.

Materiali e Metodi

Il progetto ha interessato un'area di territorio molto grande, quella di produzione delle uve moscato in Piemonte si sviluppa su tre province: Alessandria, Asti, Cuneo. Su questo territorio sono presenti una ventina di stazioni meteo appartenenti alla rete agrometeorologica regionale. Durante tutto il periodo di progetto i dati misurati da queste stazioni sono stati acquisiti e spazializzati. Per venire incontro alle evidenti limitazioni rappresentate dal numero ridotto di stazioni rispetto alla vastità delle aree oggetto di ricerca, si sono selezionate 17 aziende agricole e un vigneto campione posizionato in un'azienda facente parte del Consorzio Barbera d'Asti e Vini del Monferrato. All'interno di questi sono stati posizionati ulteriori sistemi di rilevazione agrometeorologica, personalizzati per ambienti viticoli, dotati di interfacce elettroniche progettate per un consumo energetico minimo e per coprire grandi distanze trasmissive, in modo da sopperire ai problemi originati dalle carenze di copertura telefonica. Il risultato è rappresentato da stazioni compatte che possono essere posizionate facilmente nei vigneti, anche in filare, permettendo una raccolta dati accurata e localizzata.
Lo standard trasmissivo adottato è di tipo LP-WAN (Low Power - Wide Area Network) (Kumar et al. 2022); in particolare, si è scelta una rete LoRaWAN, basata su tecnologia LoRa ('Lora Alliance'; 'SEMTECH'). All'inizio del progetto questa rete non era presente sul territorio oggetto di indagine e pertanto si è costruita un'architettura

specificatamente dedicata al raggiungimento delle 18 postazioni selezionate.

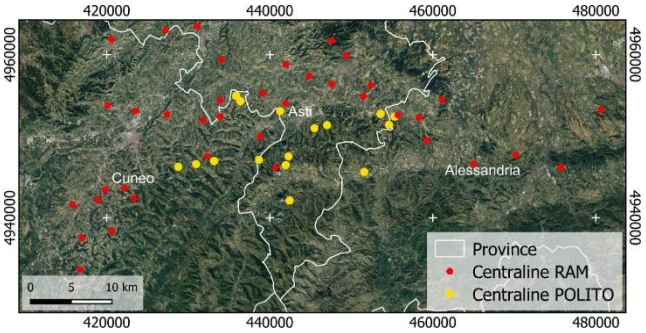

Figura 1 - Mappa delle 18 postazioni selezionate per il progetto e delle centraline RAM della Regione Piemonte.
Figure 1 - Map of the 18 stations selected for the project and the RAM control units in the Piedmont Region.

A differenza della rete regionale, è stato possibile raccogliere dati con cadenza temporale pari a 10 minuti, ottenendo 144 dati giornalieri. Il confronto con i dati regionali è stato condotto introducendo medie orarie. Le stazioni sono state progettate con la seguente dotazione di sensori:

- temperatura e umidità del terreno Delta Ohm HD3910.1.A.5 ('DeltaOHM');
- velocità del vento Navis WSS100/REED ('Navis');
- pluviometro Pronamic Tower Rain Gauge 1 mm ('Pronamic');
- temperatura e umidità dell'aria Sensirion SHT31 ('Sensirion');
- radiazione solare Apogee SP-110 ('Apogee');
- bagnatura fogliare doppia faccia.

Tutti i sensori sono stati selezionati sul mercato con caratteristiche idonee alle misurazioni agro-meteorologiche, con l'eccezione del sensore di bagnatura fogliare, che è stato progettato su misura per le esigenze di progetto.
Ogni sensore è stato collegato via cavo al nodo trasmittente, come illustrato in Figura 2.
Per quanto riguarda il sensore di bagnatura fogliare, è stata progettata una soluzione innovativa, a basso costo e caratterizzata da una particolare efficienza energetica.
Tradizionalmente, infatti, i sensori elettronici di bagnatura fogliare (Rowlandson et al. 2015), soprattutto quelli più precisi come quelli di tipo capacitivo, sono piuttosto costosi, richiedendo un investimento oneroso per piccole aziende agricole. L'adozione di un metodo di misura basato su un convertitore di tipo capacitivo-digitale ha permesso di rispettare i requisiti delle applicazioni dell'Internet-of-Things (IoT), mantenendo quindi consumi e costi bassi, come descritto in una precedente pubblicazione (Filipescu, Colucci, and Trinchero 2023). Per quanto riguarda la scheda elettronica, sviluppata per la raccolta e la trasmissione dei dati dai sensori, è stato utilizzato un modulo che integra in un unico componente un microcontrollore della famiglia STM32L0 ('STMicroelectronics') e il chip radio SX1262 ('SEMTECH').

Figura 2 - Stazione meteo installata in un vigneto di una delle aziende partner coinvolte nel progetto.
Figure 2 - Weather station installed in a vineyard of one of the partner companies involved in the project.

Questa scelta ha permesso di avere un dispositivo miniaturizzato e ottimizzato per installazioni in campo. La stazione è stata programmata per effettuare una misura per ogni sensore con un intervallo di 10 minuti. I dati trasmessi vengono ricevuti da una rete di ricevitori, connessi a Internet. La piattaforma iXemWine ('iXemLabs'; ('iXemWine') è stata sfruttata per memorizzare i dati in arrivo e fornire un'applicazione web per la visualizzazione dei dati misurati dai sensori. Infine, sono state realizzate delle interfacce machine-to-machine per collegare tale piattaforma al sistema di supporto decisionale (DSS) fornito da Horta, per i modelli di interesse.
L'utilizzo combinato di UAV (Uncrewed Aircraft Vehicle) e la missione satellitare Sentinel-2 è funzionale al monitoraggio ambientale e combina le forze di entrambi. Sentinel-2, con dati forniti dall'Agenzia Spaziale Europea ('ESA'), offre una vasta copertura spaziale, temporale e spettrale. Il drone utilizzato (DJI Phantom 4 Multispectral - ('DJI'), d'altra parte, ha un sistema multispettrale ridotto e fornisce dettagli mirati su specifiche aree con una cadenza temporale ridotta. Grazie al suo sistema multispettrale di 5 bande e alla capacità di acquisizioni ad alta risoluzione, è possibile ottenere mappe dettagliate del vigneto (Ground Sampling Distance - GSD - 2-5 cm), comprese informazioni come l'altezza delle viti e la struttura del sistema di impianto. Nel 2022 è stato effettuato un unico sorvolo estivo pre-raccolta, utile per la pianificazione dei rilievi dell'anno successivo. Infatti, nel 2023 sono stati effettuati 3 voli nella stagione vegetativa. La ripetibilità del rilievo è stata garantita mantenendo costanti alcuni parametri nella pianificazione dei sorvoli: altezza di volo, sovrapposizione laterale (60%) e longitudinale (75%), velocità di sorvolo e GSD. Il software utilizzato per l'elaborazione dell'intero set di dati acquisiti è stato Pix4D Mapper.
I dati satellitari impiegati provengono da Copernicus Sentinel 2, acquisiti e pre-elaborati tramite Google Earth Engine ('GEE'). Le serie temporali delle mappe NDVI coprono l'intera area di interesse. Queste mappe sono state filtrate utilizzando il metodo Savitzky-Golay, regolarizzate con un intervallo di 5 giorni e selezionando solo le immagini con una copertura nuvolosa inferiore al 30%. L'NDVI è

riconosciuto come un indice spettrale in grado di fornire informazioni sulla vegetazione (Jiang et al. 2006; Sarvia et al. 2021; Sarvia et al. 2022), in particolare per quanto riguarda la fenologia e la caratterizzazione degli ecosistemi (Farbo et al. 2024; Usman et al. 2015; Pan et al. 2015). Per gli anni 2021, 2022 e 2023, sono stati elaborati i profili temporali di NDVI a livello di pixel per descrivere l'evoluzione locale del sistema vigneto. Avendo caratteristiche spettrali specifiche e comparabili, l'analisi di correlazione tra Sentinel-2 e il drone utilizzato consente di verificare l'affidabilità delle informazioni raccolte, stimare la coerenza radiometrica e integrare i vantaggi di entrambi i sistemi di monitoraggio. L'utilizzo combinato di tali strumenti supporta la gestione sostenibile delle risorse naturali e la comprensione dei cambiamenti ambientali attraverso la mappatura delle aree interessate (Ghilardi et al. 2023).

Risultati e Discussione

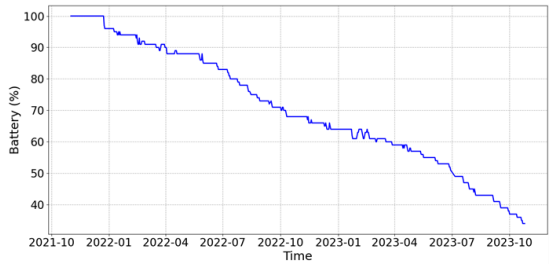

Figura 3 - Percentuale di livello di carica di una delle stazioni meteo.

Figure 3 - Percentage of charge level of one of the weather stations.

Le stazioni meteorologiche personalizzate hanno dimostrato un'elevata affidabilità e autonomia operativa durante l'intero periodo del progetto, grazie al funzionamento delle stazioni mediante l'utilizzo di due semplici batterie alcaline, facili da reperire e sostituire. Spesso, lo stesso paio di batterie ha permesso un funzionamento continuativo per oltre una stagione vegetativa, prima di scaricarsi, dimostrando l'efficienza energetica del dispositivo sviluppato (figura 3).

La continuità dei dati è stata, inoltre, garantita dalla ridondanza della rete di ricevitori progettata, che ha permesso ad un ricevitore di sopperire al temporaneo malfunzionamento di un ricevitore vicino alla stazione meteo trasmittente.

I prodotti generati dai sorvoli UAV hanno generato una nuvola di punti densa da cui sono stati ricavati il Digital Surface Model (DSM) e l'indice NDVI. Il processamento di Pix4D Mapper ha creato automaticamente un Modello Digitale del Terreno (DTM). La differenza tra DSM e DTM fornisce l'altezza della vegetazione (Canopy Height Model - CHM). Il CHM consente di classificare efficacemente l'area di studio in filari e interfile, evidenziando le aree aventi vegetazione sviluppata, ridotta e/o zone prive di continuità vegetativa, ossia come lacune vegetative. Per quanto riguarda i risultati relativi alle mappe NDVI (da UAV e da satellite), vengono evidenziati bassi valori di indice spettrale nelle aree prive di vegetazione e valori elevati nelle zone con filari vegetati, tenendo conto delle rispettive risoluzioni geometriche (figura 4).

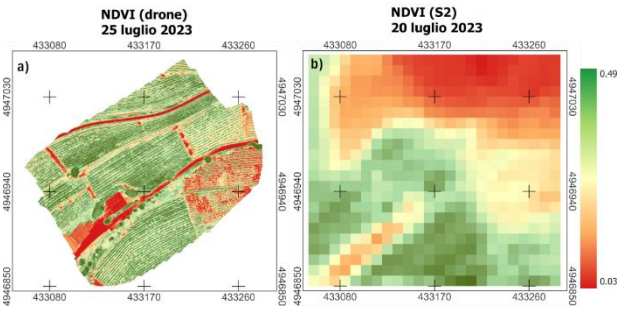

Figura 4 - Mappe NDVI da drone (a) e da Sentinel2 (b) (luglio 2023).

Figure 4 - NDVI maps from drone (a) and Sentinel2 (b) (July 2023).

Per analizzare la coerenza radiometrica e integrare i vantaggi di entrambi i sistemi di monitoraggio, è stata analizzata la correlazione tra NDVI da satellite e quello ottenuto da UAV, aspetto cruciale nel monitoraggio e nella valutazione delle risorse naturali e agricole. Ciò ha portato a significativi risultati, con alte correlazioni (R^2 = circa 0.8) tra i due indici spettrali calcolati.

Conclusioni

Il progetto ha rappresentato un passo avanti significativo nella viticoltura di precisione, fornendo ai viticoltori una comprensione dettagliata delle condizioni meteorologiche e delle dinamiche di crescita dei vigneti.

Particolarmente utile è stata la dimostrazione dell'importanza delle stazioni agrometeorologiche in filare, che misurano dati diversi rispetto a quelle esterne al filare. Inoltre, le stazioni parcellizzate permettono una rappresentazione più significativa rispetto alle stazioni della rete pubblica regionale per il nostro scopo.

L'approccio integrato ha dimostrato di essere efficace nel migliorare le pratiche agricole e nella gestione sostenibile delle risorse naturali. Il mantenimento delle stazioni meteorologiche sarà esteso anche dopo la conclusione del progetto, garantendo una raccolta dati continua e sostenibile nel lungo termine. L'integrazione di dati provenienti da droni e satelliti offre un'importante soluzione per il monitoraggio e la gestione dei vigneti, migliorando l'efficacia delle pratiche agricole e la sostenibilità complessiva del settore vitivinicolo.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata condotta nell'ambito del progetto "Sistemi Integrati per la Sostenibilità Ambientale del Vigneto (SISAV)" (20201144522) finanziato dal PSR 2014-2020, Regione Piemonte, Operazione 16.1.1 "2018 - FEASR PSR 2014 - 2020 - SOSTEGNO ALLA GESTIONE DEI GO E ATTUAZIONE DEI PROGETTI (16.1.1, AZIONE 2) - AGRICOLTURA E AREE RURALI"

Bibliografia

Edwin, Leslie, Hui J. Lee, Pin J. Ker, Md Z. Jamaludin, Mohd Anif Akhmal Abu Bakar, Ramlah Awang, and Farah AM Yusuf. 2022. "LoRa System with IOT Technology for Smart Agriculture System." In *2022 IEEE 20th Student Conference on Research and Development (SCOReD)*, 39–44. IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9974084/.

Farbo, A., F. Sarvia, S. De Petris, V. Basile, and E. Borgogno-Mondino. 2024. "Forecasting Corn NDVI through AI-Based Approaches Using Sentinel 2 Image Time Series." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 211. Elsevier: 244–261.

Filipescu, Elena, Giovanni Paolo Colucci, and Daniele Trinchero. 2023. "Advances in Design and Construction of Leaf Wetness Sensors." In *2023 IEEE Conference on AgriFood Electronics (CAFE)*, 128–131. IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10291759/.

Ghilardi, Federica, Andrea Virano, Marco Prandi, and Enrico Borgogno-Mondino. 2023. "Zonation of a Viticultural Territorial Context in Piemonte (NW Italy) to Support Terroir Identification: The Role of Pedological, Topographical and Climatic Factors." *Land* 12 (3). MDPI: 647.

Jiang, Zhangyan, Alfredo R. Huete, Jin Chen, Yunhao Chen, Jing Li, Guangjian Yan, and Xiaoyu Zhang. 2006. "Analysis of NDVI and Scaled Difference Vegetation Index Retrievals of Vegetation Fraction." *Remote Sensing of Environment* 101 (3). Elsevier: 366–378.

Kumar, z, Gokul Prasanth M, Bharath Kumar R, Abhishek J, and Ajay D. 2022. "LPWAN for IoT." In *2022 International Conference on Advanced Computing Technologies and Applications (ICACTA)*, 1–4. doi:10.1109/ICACTA54488.2022.9753563.

Langote, Meher, Arpit Chandankhade, Munabber Waghade, Shizhan Zade, and Priyanshu Lokhande. 2023. "System for IoT Agriculture Using LoRaWAN." In *2023 1st DMIHER International Conference on Artificial Intelligence in Education and Industry 4.0 (IDICAIEI)*, 1:1–5. IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10406617/.

Pan, Zhuokun, Jingfeng Huang, Qingbo Zhou, Limin Wang, Yongxiang Cheng, Hankui Zhang, George Alan Blackburn, Jing Yan, and Jianhong Liu. 2015. "Mapping Crop Phenology Using NDVI Time-Series Derived from HJ-1 A/B Data." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 34. Elsevier: 188–197.

Rowlandson, Tracy, Mark Gleason, Paulo Sentelhas, Terry Gillespie, Carla Thomas, and Brian Hornbuckle. 2015. "Reconsidering Leaf Wetness Duration Determination for Plant Disease Management." *Plant Disease* 99 (3): 310–319. doi:10.1094/PDIS-05-14-0529-FE.

Sarvia, Filippo, Samuele De Petris, Federica Ghilardi, Elena Xausa, Gianluca Cantamessa, and Enrico Borgogno-Mondino. 2022. "The Importance of Agronomic Knowledge for Crop Detection by Sentinel-2 in the CAP Controls Framework: A Possible Rule-Based Classification Approach." *Agronomy* 12 (5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 1228. doi:10.3390/agronomy12051228.

Sarvia, Filippo, Elena Xausa, Samuele De Petris, Gianluca Cantamessa, and Enrico Borgogno-Mondino. 2021. "A Possible Role of Copernicus Sentinel-2 Data to Support Common Agricultural Policy Controls in Agriculture." *Agronomy* 11 (1). MDPI: 110.

Usman, M., R. Liedl, M. A. Shahid, and A. Abbas. 2015. "Land Use/Land Cover Classification and Its Change Detection Using Multi-Temporal MODIS NDVI Data." *Journal of Geographical Sciences* 25 (12): 1479–1506. doi:10.1007/s11442-015-1247-y.

Vanezi, Evangelia, Maria Anastasiou, Christos Mettouris, Aliki Kallenou, Marijana Dimitrova, and George A. Papadopoulos. 2023. "FARM: A Prototype DSS Tool for Agriculture." In *2023 8th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 1–6. doi:10.23919/SpliTech58164.2023.10193124.

Sitografia

"Apogee" - Available Online: Https://Www.Apogeeinstruments.Com/Content/SP-Spec-Sheet.Pdf (Accessed on 11 April 2024).

"DeltaOHM" - Available Online: https://environmental.senseca.com/wp-content/uploads/document/DeltaOHM_HD3910_datasheet_ITA.pdf (Accessed on 12 April 2024).

"DJI" - Available Online: Https://Www.Dji.Com/It/P4-Multispectral (Accessed on 9 April 2024).

"ESA" - Available Online: Https://Www.Esa.Int/ (Accessed on 3 April 2024).

"GEE"- Available Online: Https://Earthengine.Google.Com/ (Accessed on 3 April 2024).

"iXemLabs" - Available Online: Https://Www.Ixem.Polito.It (Accessed on 8 April 2024).

"iXemWine" - Available Online: Https://Ixem.Wine/ (Accessed on 12 April 2024).

"Lora Alliance" - Available Online: Https://Lora-Alliance.Org/ (Accessed on 12 April 2024).

"Navis" - Available Online: http://navis-anemometers.com/pdf/WSS100_REED2.pdf (Accessed on 11 April 2024).

"Pronamic" - Available Online: https://pronamic.com/products/tower-rain-and-precipitation-sensor/ (Accessed on 11 April 2024).

"SEMTECH" - Available Online: Https://Www.Semtech.Com/Products/Wireless-Rf/Lora-Connect/Sx1276 (Accessed on 12 April 2024).

"Sensirion" - Available Online: Https://Sensirion.Com/Media/Documents/213E6A3B/63A5A569/Datasheet_SHT3x_DIS.Pdf (Accessed on 11 April 2024).

"STMicroelectronics" - Available Online: Https://Www.St.Com/Content/St_com/En.Html (Accessed on 11 April 2024). Accessed April 24.