

LA MECCANICA AGRARIA OGGI

**UN CONFRONTO APERTO SU CONCETTI
IDEE E ASPETTATIVE DI UNA DISCIPLINA IN CONTINUA EVOLUZIONE**

a cura di Marco Bietresato e Fabrizio Mazzetto

Atti dell'omonimo convegno tenutosi
presso la libera Università di Bolzano e il NOI-Techpark
Bolzano, 23-24 novembre 2017

cleup

Pubblicazione realizzata con il contributo di



Curatori

- Marco BIETRESATO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie

Comitato scientifico

- Paolo BALSARI, Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari
- Raffaele CAVALLI, Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali
- Giovanni Carlo DI RENZO, Università degli Studi della Basilicata, Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali
- Andreas GRONAUER, Universität für Bodenkultur Wien, Department of Sustainable Agricultural Systems
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Giovanni MOLARI, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari
- Danilo MONARCA, Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali
- Gianfranco PERGHER, Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali
- Felice PIPITONE, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento Scienze Agrarie e Forestali
- Giuseppe ZIMBALATTI, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Agraria

Comitato organizzativo

- Marco BIETRESATO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Raimondo GALLO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie

DOI: 10.23737/MECCANICA_AGRARIA_OGGI.HTML
https://doi.org/10.23737/MECCANICA_AGRARIA_OGGI.HTML

Prima edizione: luglio 2018

ISBN 978 88 6787 947 2

© 2018 CLEUP SC

“Coop. Libreria Editrice Università di Padova”
via G. Belzoni 118/3 – Padova (t. +39 049 8753496)
www.cleup.it
www.facebook.com/cleup

Tutti i diritti di traduzione, riproduzione e adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo (comprese le copie fotostatiche e i microfilm) sono riservati.

In copertina: disegno di Giovanna Bampa e Ian Carta, Ufficio Stampa ed Organizzazione Eventi, Libera Università di Bolzano.



Droni: Efficace Contributo alla Moderna Agricoltura di Precisione

Lorenzo COMBA², Alessandro BIGLIA¹, Davide RICAUDA AIMONINO¹, Paolo GAY¹

¹ DiSAFA – Università degli Studi di Torino, 2 Largo Paolo Braccini, 10095 Grugliasco (TO), Italy

² DENERG – Politecnico di Torino, 24 Corso Duca degli Abruzzi, 10129 Torino, Italy

Sommario

La recente diffusione di sensori leggeri e compatti per il *remote sensing* multispettrale ha permesso la loro adozione anche su aeromobili a pilotaggio remoto (APR) di piccola taglia, velivoli in grado di volare agilmente, anche a bassa quota, sopra colture di diversa natura e su terreni con diverse caratteristiche pedologiche. La peculiare caratteristica dei piani di volo degli APR ha dunque permesso di ottenere una nuova tipologia di dato aereo, denso e ricco di dettagli, se paragonato ai predecessori quali l'*imaging* satellitare e da sensori a bordo di aerei. La tipologia di sensore adottato e le caratteristiche tecniche del dato ottenuto rappresentano una nuova preziosa sorgente di informazioni sullo stato delle colture e del terreno agricolo, ed assumono particolare importanza se integrate nell'articolato processo dell'agricoltura di precisione. Infatti, tali dati, oggi organizzati sia in ortofoto che modelli tridimensionali (nuvole di punti 3D), permettono di individuare variabilità e disomogeneità a livello locale e persino, in alcuni casi, di singola pianta. Lo sviluppo di nuove tecniche di elaborazione dei dati da APR, anche comunemente chiamato drone, è dunque un tassello fondamentale per ricavare in modo opportuno il maggior numero di informazioni utili sullo stato delle colture. In aggiunta, tali elaborazioni devono essere il più possibile automatiche e non richiedere l'intervento di un operatore, al fine di poter essere proficuamente inserite nei moderni processi di automazione delle operazioni in quella che è stata definita l'azienda agricola 4.0. Infatti, un importante tema di studio della moderna *Meccanica Agraria* è lo sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche per l'attuazione di pratiche colturali in modo autonomo e mirato, utilizzando macchine che siano in grado di regolare le operazioni in accordo con lo stato delle colture e che collaborino tra loro, in modo da formare piccole flotte che sfruttino la capacità di scambiare informazioni di alto interesse per l'ottimizzazione delle pratiche agronomiche. In questo scenario, la cooperazione tra APR e veicoli robotizzati di terra (UGV) gioca un ruolo chiave, e la gestione ed elaborazione dei dati aerei per la realizzazione di mappe di prescrizione e/o la generazione automatica di traiettorie e percorsi per i veicoli di terra è un tassello di fondamentale importanza. Obiettivo di questo lavoro è provare che, con opportuna pianificazione e gestione delle acquisizioni e specifica gestione dei dati aerei, è possibile ottenere mappe affidabili delle colture.

Parole chiave: Agricoltura di precisione; Robotica collaborativa; Remote sensing; Modelli 3D; Algoritmi senza supervisione.

1. Introduzione

L'adozione dell'agricoltura di precisione sta emergendo come tecnica essenziale per raggiungere gli elevati standard qualitativi dei prodotti richiesti dal mercato: al giorno d'oggi, un numero sempre crescente di aziende agricole implementano una gestione sito-specifica nelle loro pratiche agronomiche (Zhang et al., 2002; Stafford, 2006). La viticoltura è un settore in cui i benefici economici e una riduzione dell'impatto ambientale derivante dall'adozione di pratiche agricole di precisione possono essere particolarmente considerevoli. In effetti, la possibilità di distinguere tra zone con qualità diversa, anche all'interno della stessa parcella, per eseguire pratiche appropriate in base alla variabilità delle colture è un obiettivo cruciale del moderno processo di gestione razionale delle risorse e dell'energia. La viticoltura di precisione richiede infatti, in primo luogo, l'osservazione e la conoscenza delle caratteristiche della vigna, a cui segue l'interpretazione e la valutazione dei dati raccolti sul campo al fine di individuazione adeguati attributi descrittivi delle viti e del vigneto (Proffitt et al., 2006; Tisseyre et al., 2007; Bramley and Reynolds, 2010). In questo processo, il telerilevamento svolge un ruolo importante, permettendo di raccogliere rapidamente informazioni da interi vigneti grazie alla misura della radiazione elettromagnetica, emessa o riflessa dalla chioma della coltura, e trovando le relazioni tra opportuni descrittori e la qualità finale dell'uva e la resa dell'appezzamento (Lamb et al., 2004; Hall et al., 2008). Con la recente ed ampia diffusione di UAV (comunemente chiamati droni), anche in agricoltura, si è affermata la rilevanza di tali sistemi aerei come un nuovo strumento dalle grandi potenzialità: montando sensori moderni e leggeri per il telerilevamento, gli UAV sono in grado di ampliare la disponibilità di dati di campo, grazie alla flessibilità nella pianificazione dei piani di volo e fornendo immagini con una maggiore risoluzione spaziale, rispetto all'*imaging* satellitare o da aeroplani (Zhang e Kovacs, 2012).

Per ottenere mappe più affidabili e, quindi, per aumentare l'efficacia della gestione sito-specifica dei vigneti, un processo cruciale è l'identificazione dei filari di vite all'interno delle immagini aeree (Hall et al., 2003; Kazmierski et al., 2011). Infatti, l'individuazione dei pixel che rappresentano la chioma delle viti, mascherando tutte le regioni dell'immagine con altre caratteristiche (come strade, alberi e cespugli), consente di affinare il calcolo di indici vegetativi, determinando un miglioramento della qualità delle mappe dei vigneti (Puletti et al., 2014). Questo processo però, a causa della simile riflettanza dei diversi elementi vegetativi, è solitamente complesso e *user-intensive*. Molti sistemi e algoritmi di telerilevamento sono stati ideati per studiare la risposta alla riflettanza della chioma delle viti (Zarco-Tejada et al., 2005), ma la possibilità di sfruttare il potenziale informativo delle immagini dipende dallo sviluppo di una corretta elaborazione delle immagini (Delenne et al., 2010).

Obiettivo di questo lavoro è la valutazione preliminare dell'accuratezza e del potenziale informativo delle immagini da drone, con particolare riferimento all'estrazione di caratteristiche morfologiche della coltura dalla modellazione 3D. Infatti, le nuvole di punti generate con moderni strumenti di fotogrammetria aggiungono interessanti specificità rispetto alle classiche mappe bidimensionali (Primicerio et al., 2017; Comba et al., 2015; Primicerio et al., 2015; Bendig et al., 2015; Zarco-Tejada et al., 2014).

2. Materiale e metodi

La valutazione della qualità della ricostruzione tridimensionale della coltura è stata condotta valutando la correlazione tra il valore di alcuni parametri morfologici ricavati da elaborazione automatica della nuvola di punti 3D e quelli rilevati in campo. Le 42 zone selezionate per la valutazione, uniformemente distribuite sulla superficie della parcella, sono formate da una coppia di piante ognuna (porzione di filare di lunghezza 1,5

metri indicativi). Per poter effettuare un confronto tra i dati da diversa sorgente, la posizione di ogni porzione di filare analizzata è stata rilevata con sistema GPS.

La procedura per ricavare in modo opportuno informazioni rilevanti per quanto riguarda le caratteristiche morfologiche della coltura da un modello 3D (nuvola di punti densa), a livello di parcella fino a quello di singola pianta, si compone di diversi passaggi: particolare attenzione va posta ai metodi di *data processing*, che devono essere compatibili con le dimensioni considerevoli dei dataset (Barge et al., 2017). La metodologia utilizzata può essere suddivisa in cinque fasi principali: (1) fase di pre-elaborazione per definire la nuvola di punti in un sistema di riferimento locale, a partire da un sistema globale di coordinate geografiche (latitudine e longitudine geografica); (2) selezione di sottoinsiemi di punti mediante una procedura di intersezione tra la nuvola originale e un piano di sezione; (3) classificazione e selezione dei punti che rappresentano la parte superiore della chioma delle piante di vite, modellando la superficie del terreno in modo locale ed accurato e, infine, (4) il calcolo di alcuni parametri morfologici della distribuzione di punti così individuata.

2.1 Fase di pre-elaborazione della nuvola di punti

Il modello 3D originale è stato ottenuto con il software Agisoft Photoscan, dall'elaborazione di una serie di 300 immagini aeree acquisite con una camera multispettrale Parrot Sequoia durante un volo UAV sopra un vigneto situato a Barolo, Piemonte, dal. Un set di riferimenti georeferenziati è stato posizionato nella parcella al fine di georeferenziare in modo opportuno la nuvola di punti generata. Il sistema di riferimento adottato è il WGS84 (latitudine, longitudine e altezza - LLA). Al fine di elaborare la nuvola per estrarre valori di parametri nel sistema metrico internazionale, la nuvola di punti è stata rappresentata in un sistema di riferimento metrico cartesiano locale, passando attraverso una conversione nel sistema geocentrico ECEF. L'origine del sistema di riferimento locale è stata scelta nel punto più basso della nuvola (Figura 1).

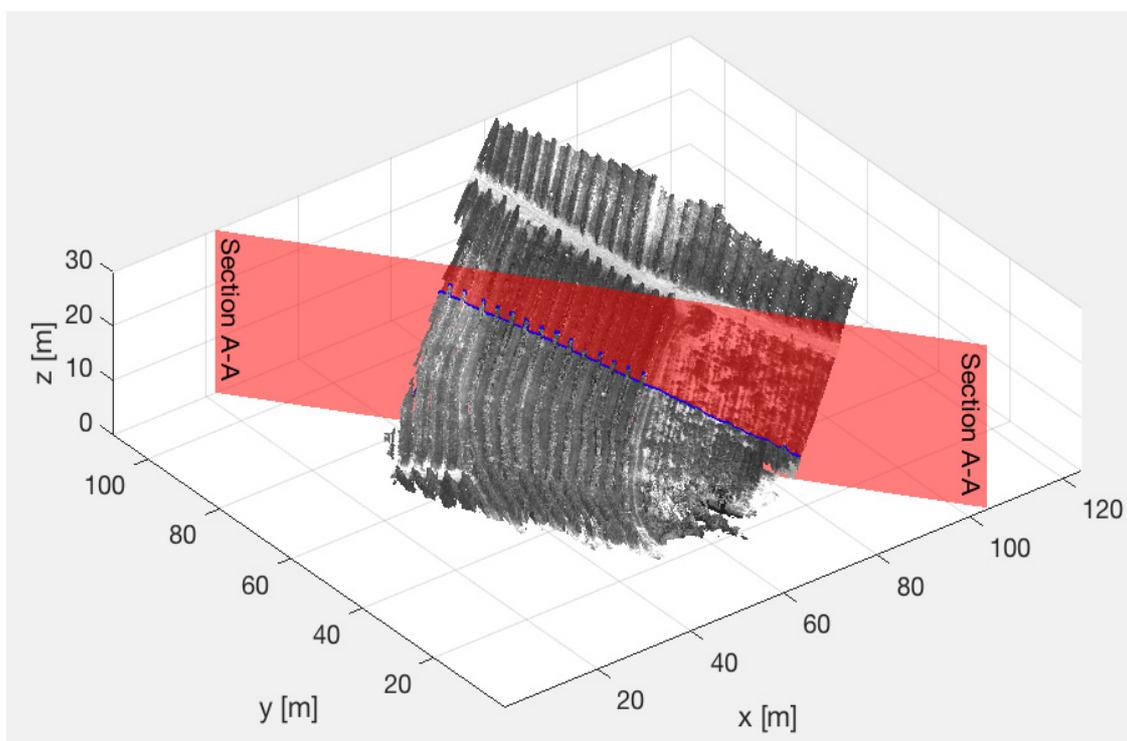


Figura 1 - Modello 3D (nuvola di punti densa) della parcella di vigneto studiata. La sezione A-A è evidenziata in rosso, mentre il sottoinsieme di punti selezionati S, estratto dalla nuvola 3D, è stato colorato in blu

2.2 Definizione di opportuni sottoinsiemi di punti

Ogni punto p_i appartenente al modello 3D è definito da 4 numeri, come

$$p_i = [x_i \ y_i \ z_i \ v_i] \quad (1)$$

dove x_i , y_i e z_i sono le tre coordinate spaziali e v_i è un indice inversamente proporzionale all'intensità della radiazione infrarossa catturata dal sensore. Sulla base di un criterio di vicinanza ad un piano verticale

$$AA = \{x, y, z \in \mathbb{R} \mid 1.3x + y - 139.3 = 0\} \quad (2)$$

è stato definito un sottoinsieme di punti S come

$$S = \{p_i \in PC \mid \|p_i - p_{i,AA}\|_2 < d\} \quad (3)$$

dove $p_{i,AA}$ è la proiezione di p_i sul piano AA , lungo la direzione perpendicolare ad esso, e d è un valore soglia. Il valore ottimale di d dipende dalla densità della nuvola di punti, ed è stato impostato a 0.1 meters per il presente caso studio. Una proiezione sul piano AA del sottoinsieme di punti così selezionato è mostrato in figura 2.

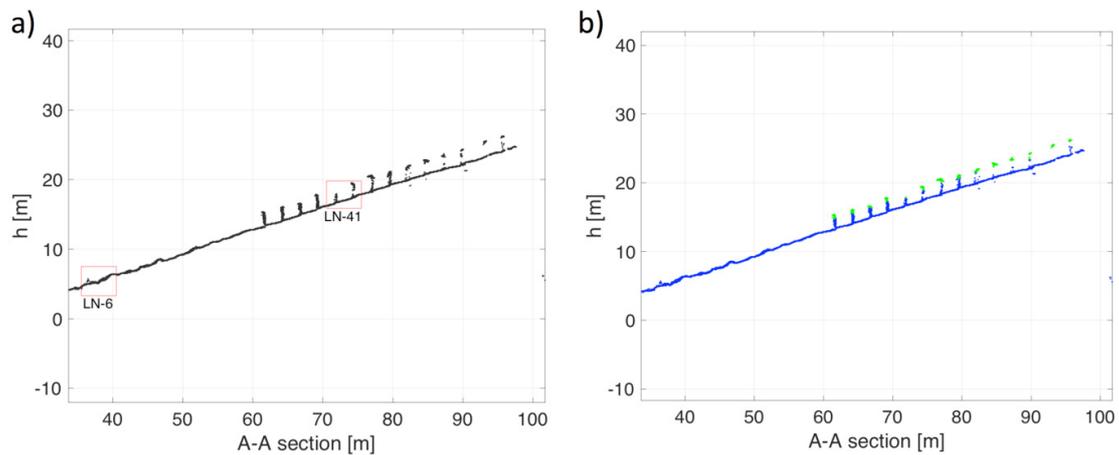


Figura 2 - a) Proiezione sul piano AA del sottoinsieme di punti S . Due esempi di finestra mobile locale, nominati LN-6 e LN-41, sono evidenziati da rettangoli rossi. b) Classificazione finale dei punti appartenenti ad S che rappresentano la parte apicale della chioma della coltura (verde) e altro (blue).

2.3 Identificazione automatica della coltura nel modello 3D

Con particolare riferimento all'identificazione dell'altezza rispetto al terreno della parte apicale della chioma della coltura, è necessario individuare un modello che descriva la locale conformazione del terreno. Questo obiettivo è stato raggiunto utilizzando un metodo a finestra mobile, che utilizza un filtro mobile per valutare in modo locale e robusto il profilo del terreno, classificando in modo automatico i punti della porzione di nuvola S come rappresentanti della superficie del terreno o della coltura. Nella figura 2 sono riportati, evidenziati con un rettangolo rosso, due esempi di finestra mobile, denominati LN-6 ed LN-41, con una dimensione di 5 metri di lunghezza e posizionate a 38 e 73 metri rispettivamente. Il primo seleziona una zona della nuvola di punti rappresentante terreno senza coltura, mentre il secondo una porzione di vigneto. Un ingrandimento delle due porzioni evidenziate sono riportati rispettivamente in figura 3 e 4.

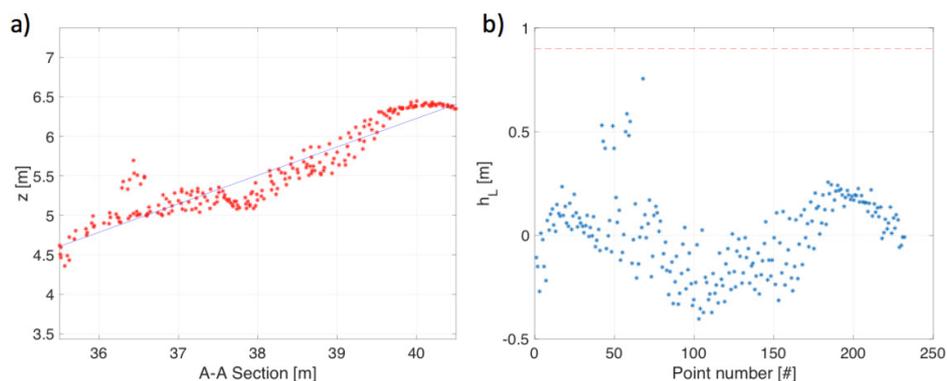


Figura 3 - a) Dettaglio della porzione di modello 3D individuate dalla finestra mobile denominate LN-6, rappresentante una porzione di terreno esterna al vigneto (rosso). b) Altezza di ogni punto rispetto alla superficie locale del terreno.

Considerando solamente i punti selezionati dalla finestra mobile, è stato definito un modello del terreno utilizzando una regressione lineare, che minimizzi la somma dei residui quadratici corretti tra il modello del terreno e i punti selezionati. La correzione è effettuata pesando in modo diverso i punti aventi coordinata z compresa nel primo quartile.

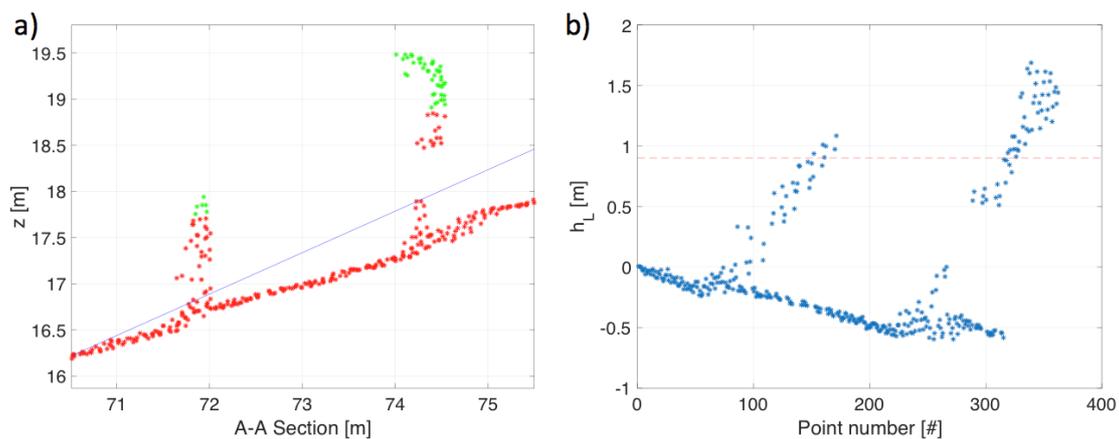


Figura 4 - a) Dettaglio della porzione di modello 3D individuate dalla finestra mobile denominate LN-41, rappresentante una porzione di vigneto, con i punti appartenenti alla parte apicale della chioma (verde), e altri punti (rosso). b) Altezza di ogni punto rispetto alla superficie locale del terreno.

2.4 Calcolo parametri morfologici della coltura

Il metodo utilizzato esegue in modo automatico la stima di numerosi parametri morfologici della coltura, quali l'altezza della chioma, la distribuzione della densità dei punti lungo la parete fogliare e lo spessore della stessa a diversi livelli. In questo lavoro è stata posta l'attenzione all'altezza delle piante da modello 3D della coltura. Tale parametro è ricavato grazie ad una soglia sui valori di altezza relativa h_L rispetto al terreno, che permette di selezionare una serie di gruppi di pixel descriventi la sola parte apicale della chioma (in verde, figura 4.a). Successivamente, l'altezza della chioma delle viti è stata stimata considerando il valore del 95 percentile dei set precedentemente ottenuti.

3. Risultati

Il processo descritto nel paragrafo precedente ha permesso di ottenere una mappatura dell'altezza della coltura con un livello di dettaglio di 1,5 metri sull'intera parcella. Per verificare l'attendibilità dell'intero processo di generazione ed elaborazione del modello 3D della coltura, 42 porzioni di filari, uniformemente distribuite nella parcella in esame, sono state oggetto di misure in campo, al fine di descriverne in modo completo l'aspetto morfologico locale. In particolare, la relazione tra i valori di altezza rilevati dagli operatori è quelli stimati dall'algoritmo automatico a prodotto un esito particolarmente positivo, dimostrando una correlazione forte (Figura 5).

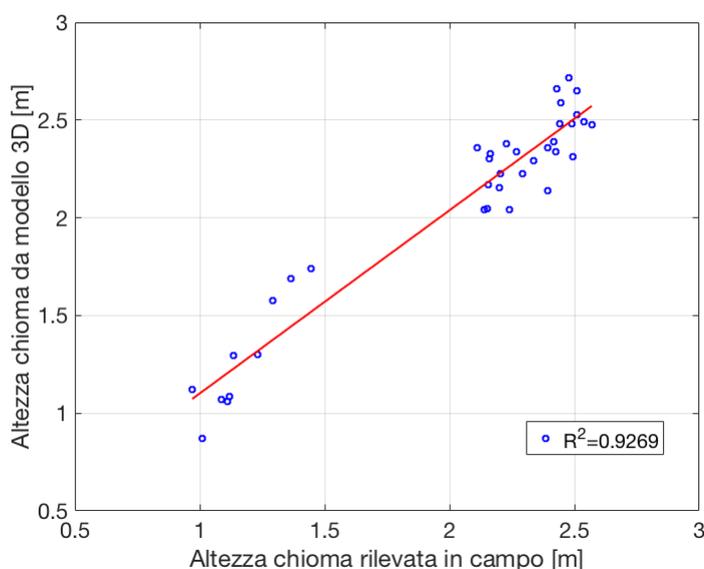


Figura 5 – Correlazione tra altezza della chioma della coltura ricavata da nuvola di punti 3D e valori rilevati in campo.

4. Discussione e conclusioni

L'attività presentata in questo lavoro conferma le elevate potenzialità introdotte dalle ricostruzioni 3D delle superfici attraverso elaborazioni di tipo fotogrammetrico (*Structure from motion*), anche in un contesto difficile e complesso quale il vigneto. L'analisi è stata condotta su una ricostruzione 3D di una parcella di vigneto dislocata su una superficie collinare con elevata pendenza e marcato inerbimento nelle zone interfilari. Il modello 3D è stato generato da immagini aeree acquisite ad una quota di 35 metri con camera multispettrale installata su un aeromobile a pilotaggio remoto. Tali caratteristiche di volo permettono di acquisire immagini per modellare una superficie di un ettaro con un volo di 15 minuti, rendendo questo strumento di indagine compatibile con le applicazioni in contesto agronomico, in termini economici e di livello di dettaglio richiesto. Il processo di elaborazione della nuvola di punti adottato ha permesso di ricavare alcuni parametri morfologici della coltura, dei quali è stata dimostrata la alta correlazione con le verifiche condotte in campo da operatori specializzati.

Nel contesto dell'agricoltura di precisione, l'intero processo di acquisizione di dati da drone, di elaborazione atta a ricavare informazioni rilevanti ed affidabili per la successiva produzione di mappe di prescrizione, è una delle attività proprie dell'Ingegneria Agraria. Le competenze richieste nel campo delle macchine automatiche e/o robotiche, quali i droni (AUV) e gli *implements* per le pratiche mirate, tipiche dell'agricoltura di precisione,

sono caratterizzanti la ricerca in questo settore, che integrano diversi aspetti complementari dell'ingegneria, dell'agronomia e della meccanica.

Bibliografia

- Barge, P., Biglia, A., Comba, L., Gay P., Guidoni, S., Tortia C., Ricauda Aimonino, D. (2017). *Features extraction from vineyard 3D dense point-cloud model for precision viticulture*. 11th International AIIA Conference. Bari (Italy)
- Bendig J., Yu K., Aasen H., Bolten A., Bennertz S., Broscheit J., Gnyp M.L., Bareth G. (2015). *Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 39, 79–87.
- Bramley, R.G.V., Reynolds, A.G. (2010). *Precision Viticulture: Managing vineyard variability for improved quality outcomes*. Managing Wine Quality, 1, 445–480. doi:10.1533/9781845699284.3.445
- Comba, L., Gay, P., Primicerio, J., Ricauda Aimonino, D. (2015). *Vineyard detection from unmanned aerial systems images*. Computers and Electronics in Agriculture, 114, 78-87. doi: 10.1016/j.compag.2015.03.011
- Delenne, C., Durrieu, S., Rabatel, G., Deshayes, M. (2010). *From pixel to vine parcel: A complete methodology for vineyard delineation and characterization using remote-sensing data*. Computers and Electronics in Agriculture, 70(1), 78–83. doi:10.1016/j.compag.2009.09.012
- Hall, A., Louis, J., Lamb, D. (2003). *Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images*. Computers & Geosciences, 29(7), 813–822. doi:10.1016/S0098-3004(03)00082-7
- Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, B., Louis, J. (2008). *Optical remote sensing applications in viticulture-a review*. Australian Journal of Grape and Wine Research, 8(1), 36–47. doi:10.1111/j.1755-0238.2002.tb00209.
- Kazmiersky, M., Glemas, P., Rousseau, J., Tisseyre, B. (2011). *Temporal stability of within-field patterns of NDVI in non irrigated Mediterranean vineyards*. Journal international des sciences de la vigne et du vin, 45(2), 61-73.
- Lamb, D.W., Weedon, M.M. and Bramley, R.G.V. (2004). *Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: timing observations against vine phenology and optimising image resolution*. Australian Journal of Grape & Wine Research, 10, 46-54. doi:10.1111/j.1755-0238.2004.tb00007.x
- Proffitt T., Bramley R., Lamb D., Winter E. (2006) - *Precision viticulture - A new era in vineyard management and wine production*. Winetitles, Australia, 6-48.
- Primicerio, J., Gay, P., Ricauda Aimonino, D., Comba, L., Matese, A., Di Gennaro, S. F. (2015). *NDVI based vigour maps production using automatic detection of vine rows in ultra-high resolution aerial images*. European Conference (10th) on Precision Agriculture, 465 - 470.
- Primicerio, J., Caruso, G., Comba, L., Crisci, A., Gay, P., Guidoni, S., et al. (2017). *Individual plant definition and missing plant characterization in vineyards from high-resolution UAV imagery*. Eur J Remote Sens 50, 179-186.
- Puletti, N., Perria, R., Storchi, P. (2014). *Unsupervised classification of very high remotely sensed images for grapevine rows detection*. European Journal of Remote Sensing, 47, 45 – 54. doi: 10.5721/EuJRS20144704
- Stafford, J.V. (2006). *The role of the technology in the emergence and current status of precision agriculture*. In: Srinivasan A. (Ed.), Handbook of Precision Agriculture : Principles and Applications, Food Products Press, New York, 19–56.
- Tisseyre, B., Ojeda, H., Taylor, J. (2007). *New technologies and methodologies for site-specific viticulture*. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 41(2), 63-76.

- Zarco-Tejada, P.J., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J.R., Martín, P., Cachorro, V., González, M.R., De Frutos, A. (2005). *Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy*. *Remote Sensing of Environment*, 99(3), 271–287. doi:10.1016/j.rse.2005.09.002
- Zarco-Tejada P.J., Diaz-Varela R., Angileri V., Loudjani P. (2014). *Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods*. *European Journal of Agronomy*, 55, 89–99.
- Zhang, N., M. Wang, N. Wang (2002). *Precision agriculture: a worldwide overview*. *Computer and electronics in agriculture*, 36, 113–132. doi:10.1016/S0168-1699(02)00096-0.
- Zhang, C., Kovacs, J.M. (2012). *The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review*. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. doi:10.1007/s11119-012-9274-5

Stampato nel mese di luglio 2018

presso C.L.E.U.P. "Coop. Libreria Editrice Università di Padova"

via G. Belzoni 118/3 - 35121 Padova (t. +39 049 8753496)

www.cleup.it - www.facebook.com/cleup