

# Telerilevamento e analisi idrologiche in agricoltura: *Dati satellitari e droni* *per la gestione del rischio idrogeologico collinare*

**Sara Cucchiaro<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD), Italy

<sup>2</sup>Department of Agricultural, Food, Environmental and Animal Sciences, University of Udine, Via delle Scienze, 206, 33100 Udine, Italy

Corso di formazione in presenza  
Veneto Agricoltura  
viale dell'Università 14 – Legnaro (Pd)

24 Febbraio 2023



FEASR



REGIONE DEL VENETO



PSR  
VENETO  
2014-2020

# Rilievi in campo...in pratica

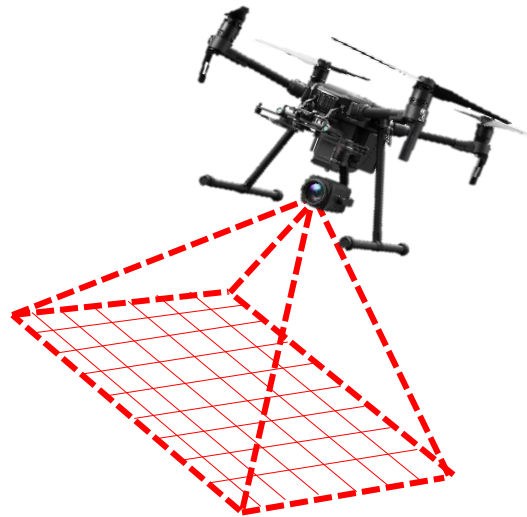
## 1. Punti:

- GNSS (global navigation satellite system)
- Stazione totale



## 2. Superfici:

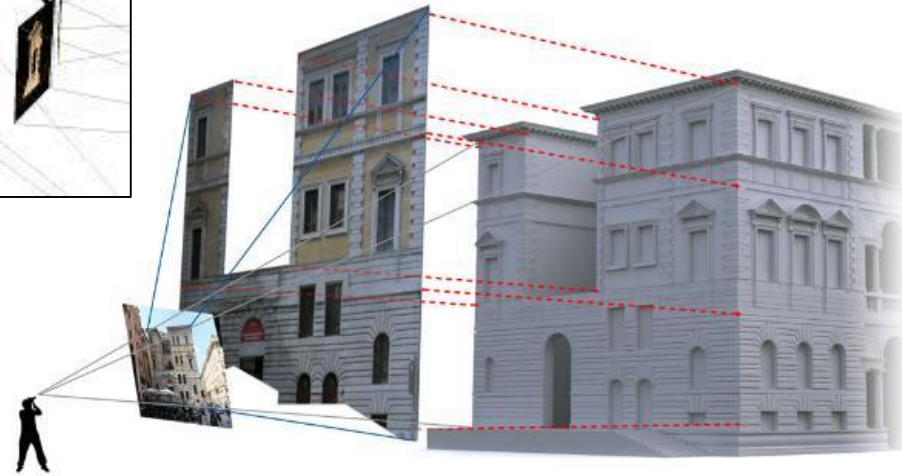
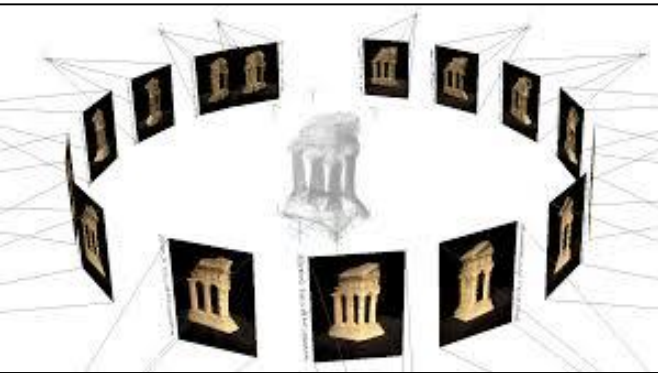
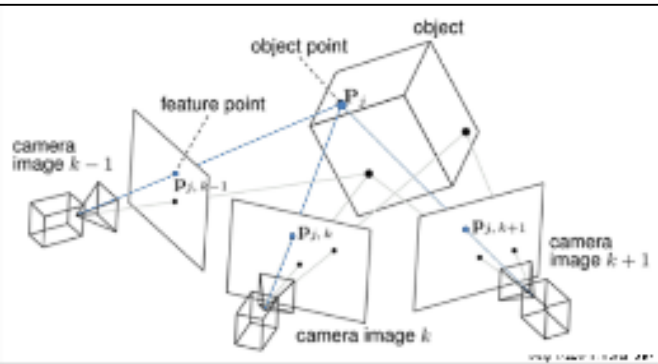
- TLS (Terrestrial Laser Scanning)
- UAV Laser Scanning
- Mobile Mapping Systems (MMSs)
- Fotogrammetria



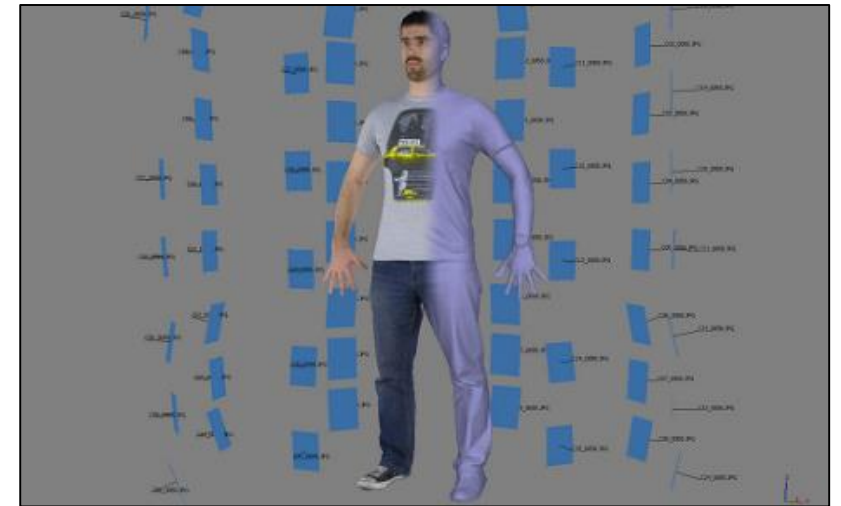
## Structure from Motion (SfM):



## Multi-View Stereo (MVS)



Potenza di elaborazione

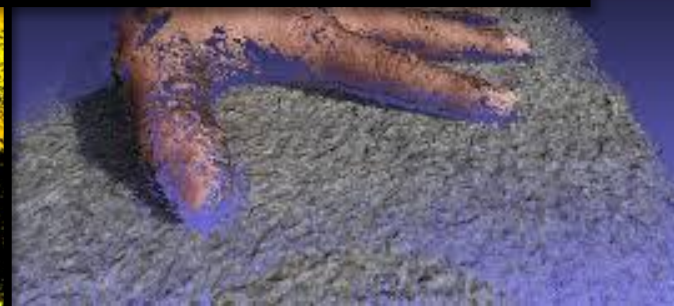
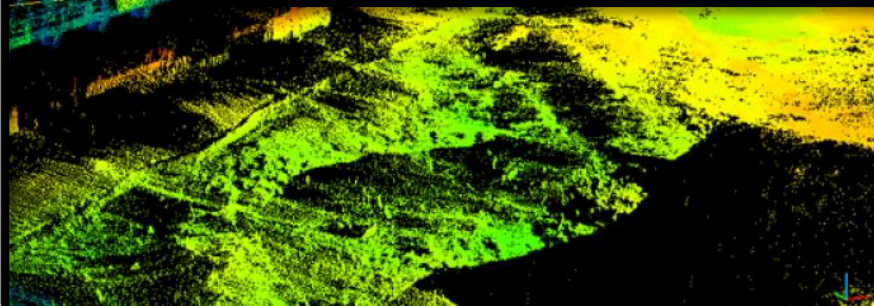
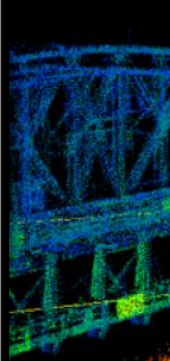
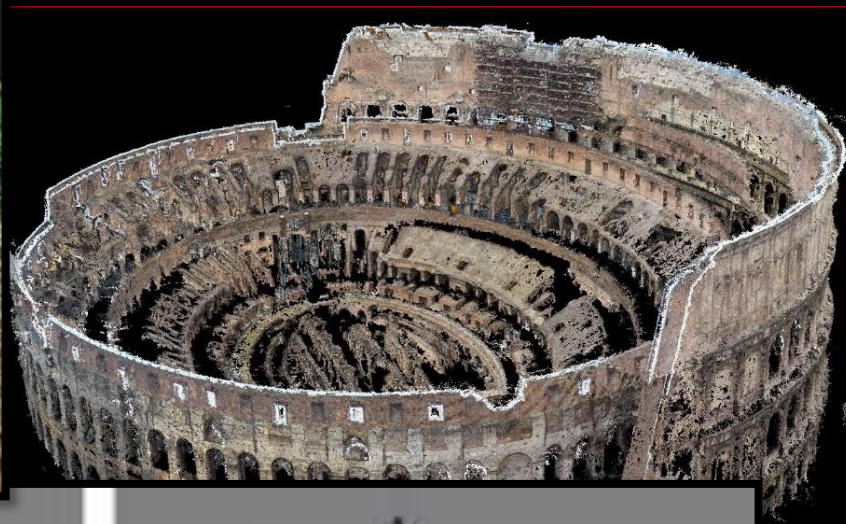
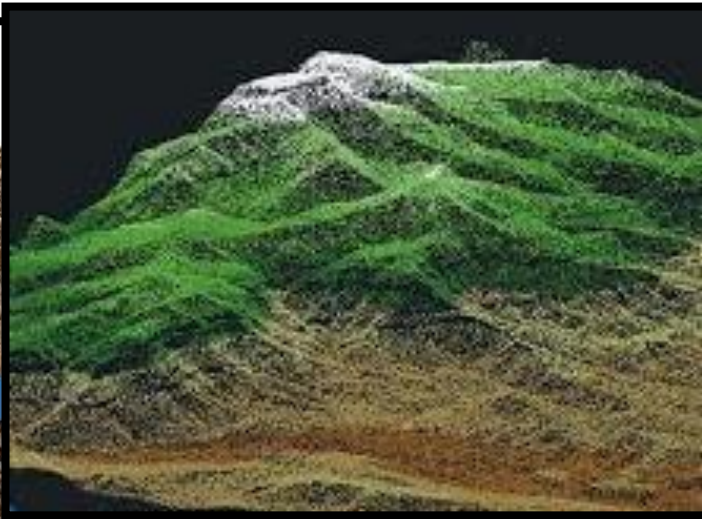


Tecnica fotogrammetrica che permette la ricostruzione di oggetti 3D partendo da immagini 2D

Software fotogrammetrico



# SfM: nuvole di punti 3D



## piattaforme diverse per scopi diversi

### Rilievi speditivi



EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS  
*Earth Surf. Process. Landforms* 40, 473–486 (2015)  
Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Ltd.  
Published online 11 October 2014 in Wiley Online Library  
(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/esp.3648

Investigating the geomorphological potential of freely available and accessible structure-from-motion photogrammetry using a smartphone

Natan Micheletti,<sup>1\*</sup> Jim H. Chandler<sup>2</sup> and Stuart N. Lane<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Earth Surface Dynamics, University of Lausanne, Switzerland

<sup>2</sup> School of Civil and Building Engineering, Loughborough University, LE11 3TU, UK

### Rilievi da terra

Fotocamera



Stabilizzatore (gimbal)

Rilievi aerei



UAS: Unmanned aerial systems

Autogiro o Aereo leggero



Pallone ancorato

- Tecnica low cost (a parte l'investimento iniziale)
- Permette di fare rilievi frequenti
- Rilievi anche in zone remote e difficilmente accessibili
- Permette di utilizzare piattaforme di acquisizione diverse

Palo



# SfM: piattaforme di acquisizione – UAS

## “Handmade” e specializzati



8 rotori su 4 assi, compatto e potente, ma scarsa efficienza.



6 rotori su 6 assi, grande diametro e ingombro. Stabile ma scarsamente manovrabile



6 rotori, galleggiante per riprese subacquee.



Con serbatoio per uso agricolo (diserbo, concimazione, ecc.). «Precision Farming»

# SfM: piattaforme di acquisizione – UAS

## Ready-to-fly



**DJI Mavic**  
amatoriale evoluto



**DJI Mini**  
amatoriale tascabile



**DJI Matrice 210**  
Fotogrammetria PRO



**DJI Matrice 300 RTK**  
Fotogrammetria e LiDAR



**DJI Air**  
riprese cinematografiche



**DJI Matrice 30**  
Emergenze  
Protezione Civile



**eBee**  
ala fissa  
grandi estensioni



**DJI Inspire**  
fotogrammetria - cinema



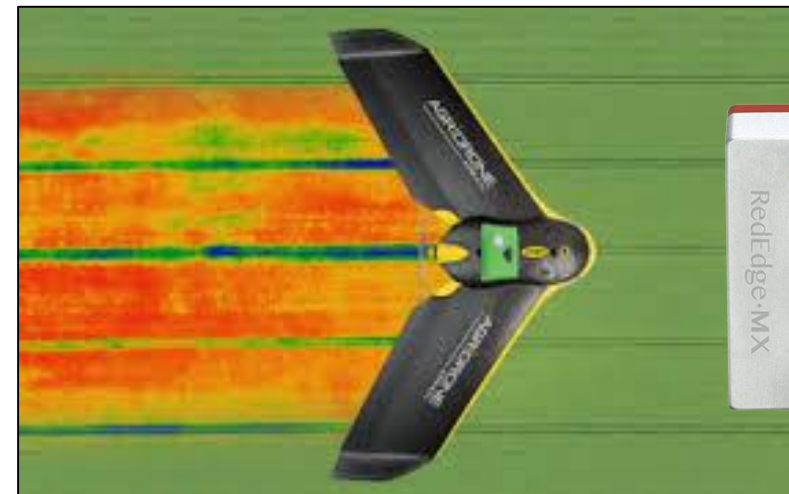
**DJI Phantom**  
fotografie - multispettrale

## DJI Phantom 4 Multispectral

Per rilievi dello stato della copertura vegetale



- Sistema di immagini multispettrali a cinque bande
- Indici di vegetazione (NDVI) in tempo reale
- Posizionamento RTK



**Multispettrale**



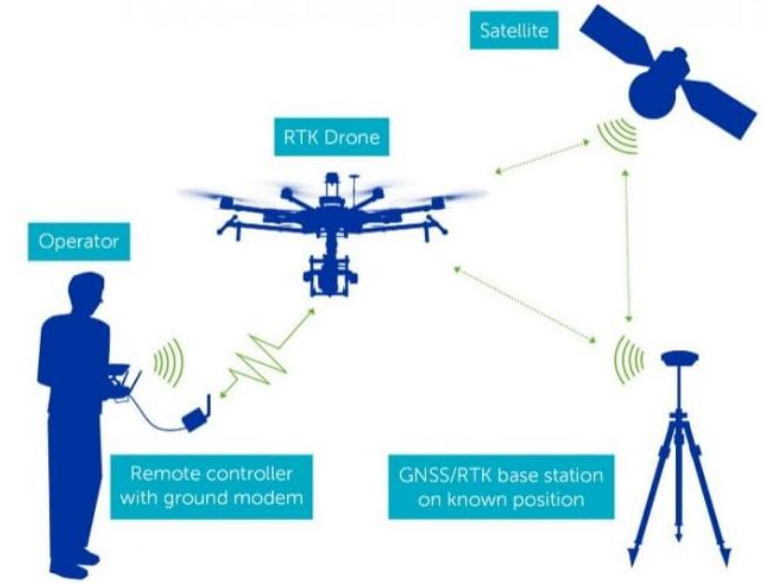


# UAS in evoluzione

- **Posizionamento GNSS** – utilizza il ricevitore GNSS montato sul drone. I più recenti ricevono le costellazioni GPS, Glonass, BeiDou e Galileo.
- **Post Processing Kinematic (PPK)** – il posizionamento GNSS viene corretto in post-elaborazione utilizzando i dati di una stazione GNSS fissa.
- **Real Time Kinematic (RTK)** – il posizionamento GNSS viene corretto in tempo reale utilizzando i dati di una stazione GNSS fissa.

La stazione fissa può essere proprietaria oppure far parte di una rete GNSS:  
Regionale (es. SPIN GNSS)  
Nazionale (es. HxGN SmartNet, NetGeo, ecc.)

Il sistema RTK via rete richiede accesso ai dati in tempo reale con connessione telefonica (4G/5G).



**NO punti di controllo a terra??**



eBee RTK

MATRICE 210 RTK



Phantom 4 RTK

# UAS: Normativa ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile)

**ENAC** : Autorità di regolazione tecnica, certificazione, vigilanza e controllo nel settore dell'aviazione civile in Italia

**Regolamenti ad hoc**: Edizione 3 del 11 Novembre 2019: "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto > emendamento 1 del **14 Luglio 2020**»

**Aeromobile**: ogni macchina destinata al trasporto per aria di persone o cose

## **Aeromobili a Pilotaggio Remoto (APR):**

- Destinati all'impiego in operazioni specializzate e non, o in attività scientifiche di ricerca e sviluppo
- Esclusioni competenze ENAC: APR  $\geq$  150 kg, APR in spazio chiuso e militari, e aeromobili giocattolo



Codice della Navigazione ENAC + UE

## **Aeromodello:**

- Possono essere utilizzati esclusivamente per impiego ludico e sportivo (no sensori per attività specializzate)
- Limitazioni per l'uso dello spazio aereo e a garanzia della sicurezza



Campi di volo e NO in aree sensibili (distanza di 200 m e 70 m quota) + attestato aereomodellista (rilasciato da Aero Club d'Italia) voli ad altezze superiori a 70 m

**NEW**

**Regolamento Europeo UE / 2019 / 945**

**Regolamento Europeo UE / 2019 / 947**

**Periodo transitorio: fino al 1° gennaio 2024**

# SfM: dalla teoria al rilievo in campo

## ***Ricetta***

- 1) Pianificazione del rilievo
- 2) Acquisizione delle immagini e misurazione dei target mediante GNSS
- 3) Generazione nuvola di punti con software fotogrammetrici
- 4) Post-processing dei dati
- 5) Analisi degli errori e co-registrazione
- 6) Produzione degli output

## ***Ingredienti***

### ***Rilievo di campo***

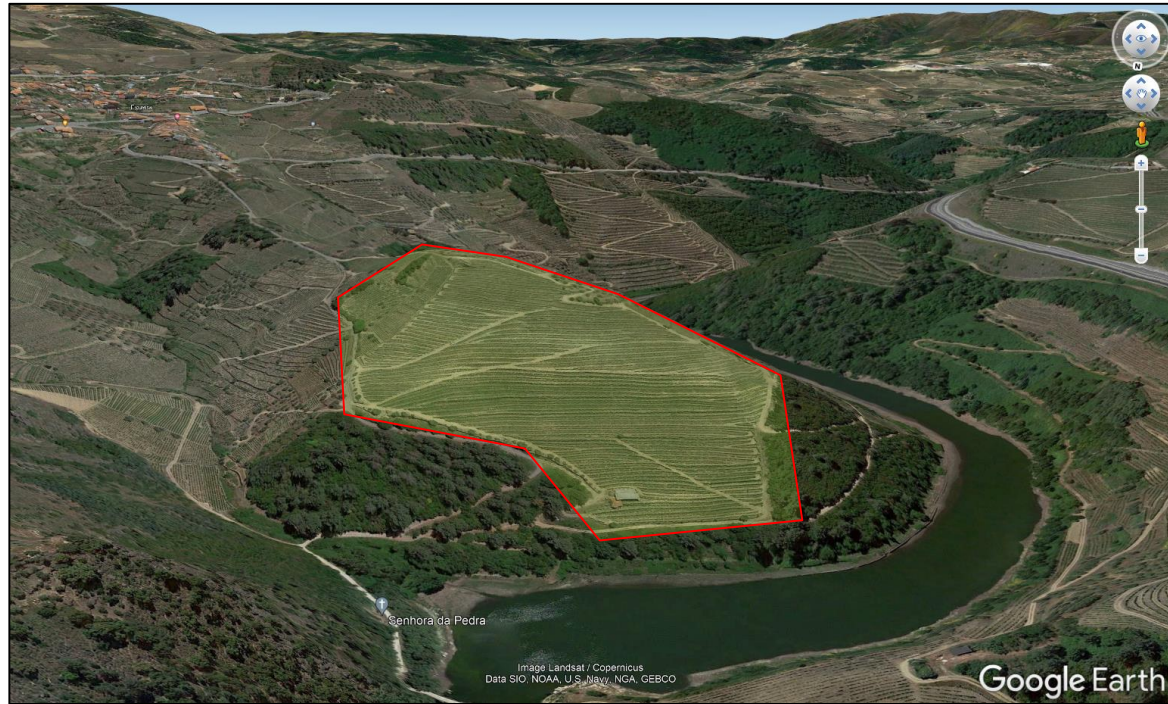
- Area di studio
- Drone con fotocamera
- Controller del drone
- Tablet o PC per la pianificazione del volo
- Punti di controllo a terra
- GNSS topografico



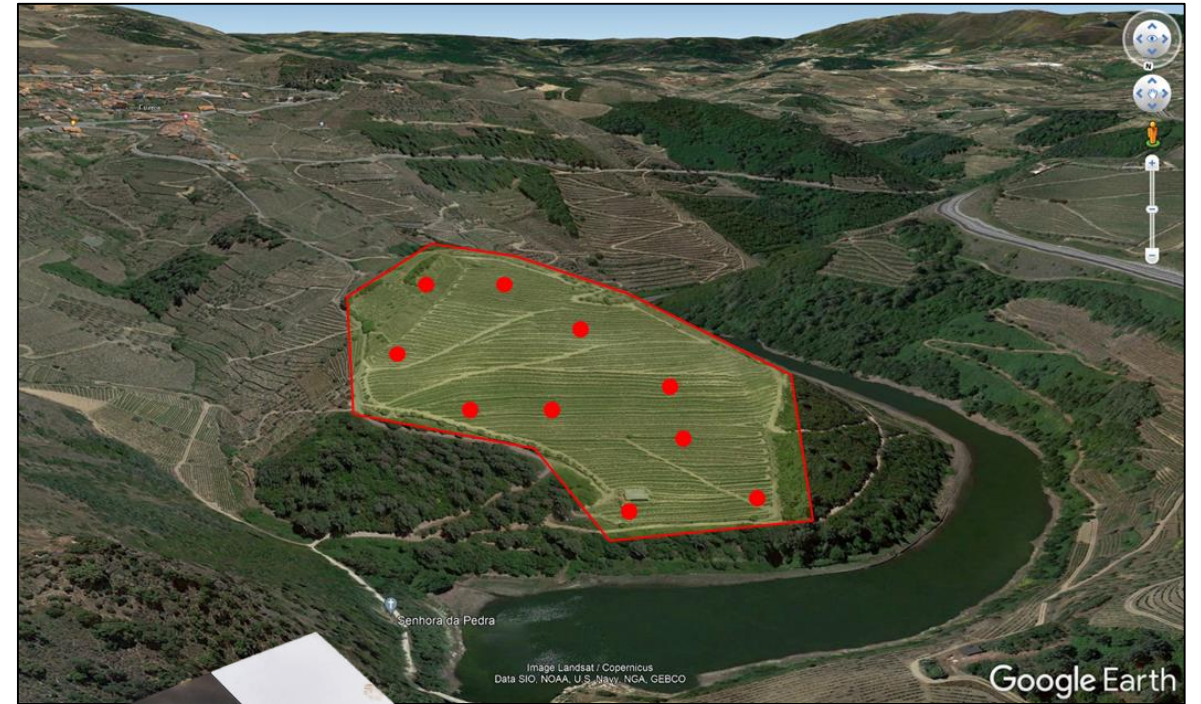
## Ricetta

### 1) Pianificazione del rilievo

- Identificazione dell'area di studio sulla mappa



- Pianificazione della distribuzione dei GCPs

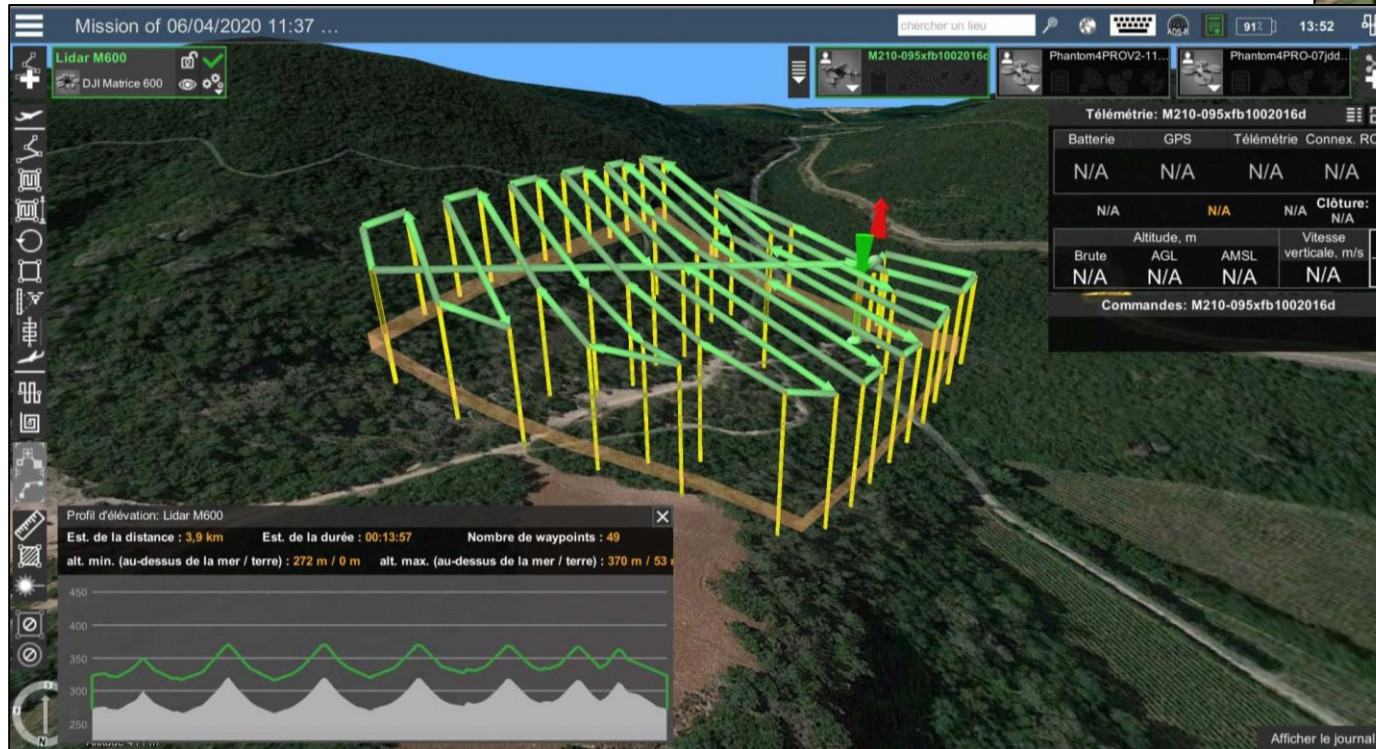
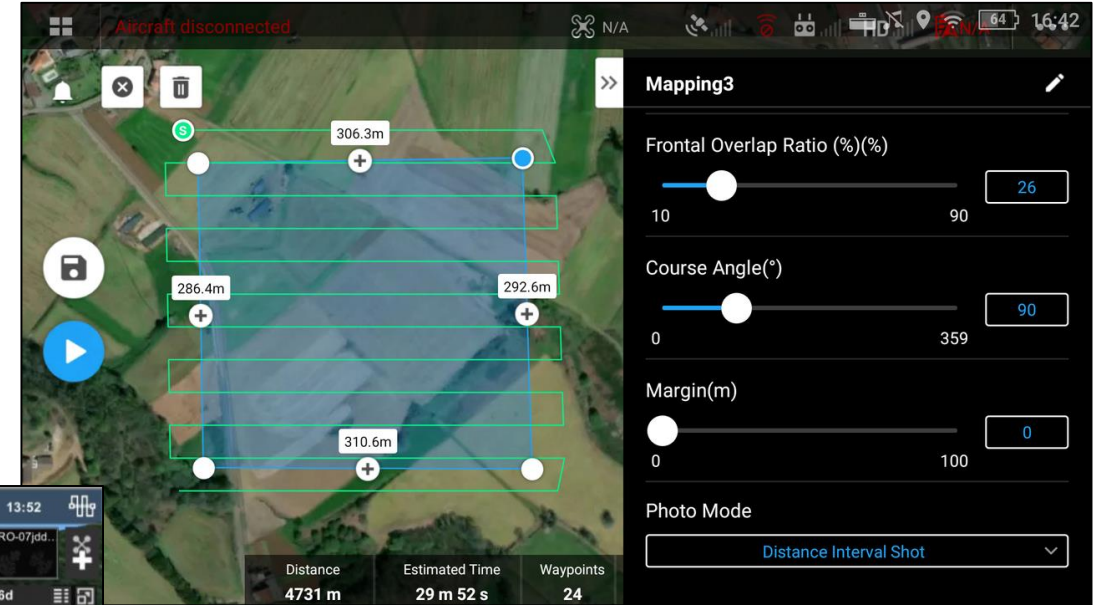


# SfM: dalla teoria al rilievo in campo

## Ricetta

### 1) Pianificazione del rilievo

- GSD: mm/pix
- Quota di volo
- Velocità drone
- Overlap delle immagini
- Angolo della camera



# SfM: dalla teoria al rilievo in campo

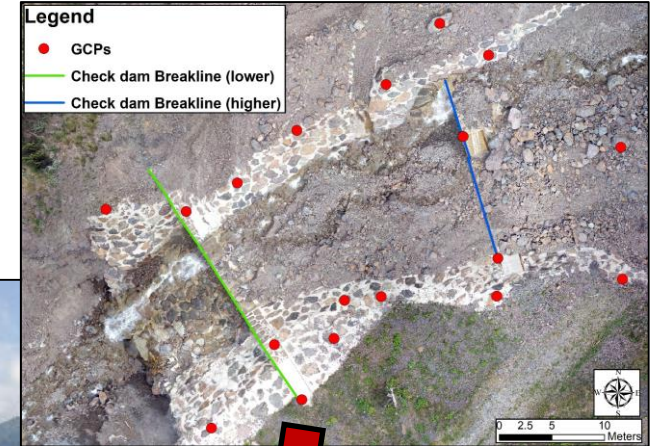
## Ricetta

2) Acquisizione delle immagini e misurazione dei target mediante GNSS

### Structure from Motion (SfM)



### Rilievo GNSS



**Ground Control Points (GCPs)**

# SfM: dalla teoria al rilievo in campo

## Ricetta

2) **Acquisizione delle immagini** e misurazione dei target mediante GNSS



## **Ricetta**

### 2) **Acquisizione delle immagini**

Il ghiacciaio del Montasio (Alpi Giulie)



**SfM da UAV**



**SfM da terra**





## **Ricetta**

### 2) Acquisizione delle immagini da drone e **misurazione dei target mediante GNSS**

- **Ground Control Points** – marche sul terreno di coordinate note con precisione. Utilizzate per una precisa georeferenziazione e collimazione delle immagini.
- **Check Points** - marche sul terreno di coordinate note con precisione. Utilizzate per verificare l'accuratezza della restituzione fotogrammetrica.



**Problemi: *vegetazione e neve fresca***



# SfM: dalla teoria al rilievo in campo

## Ricetta

- 1) Pianificazione del rilievo
- 2) Acquisizione delle immagini e misurazione dei target mediante GNSS
- 3) Generazione nuvola di punti con software fotogrammetrici**

## Hardware

PC con ottima scheda grafica



## Software

- Fotogrammetrico
- Gestione nuvole di punti

  
Metashape

  
PIX4D

 3DFLOW

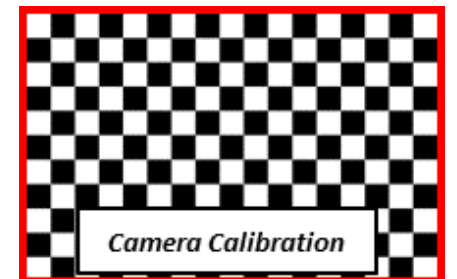


## Pre-processing



Mascherare gli  
oggetti  
indesiderati

Pre-calibrazione  
della camera

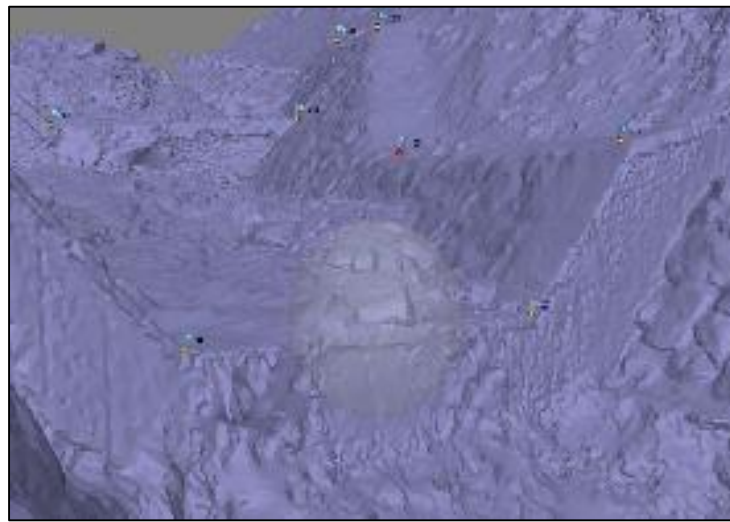
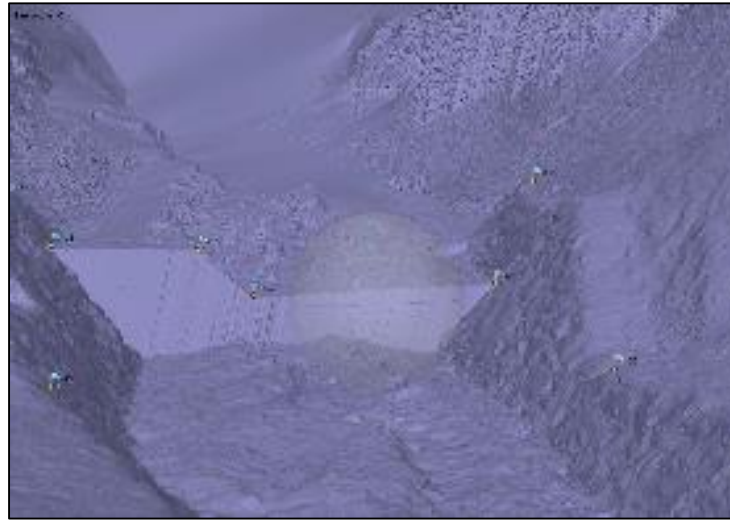


## **Ricetta**

**3) Generazione nuvola di punti con software fotogrammetrici**



**SfM  
Multi-View Stereo (MVS)**



**Foto**

**Mesh**

**Texture**

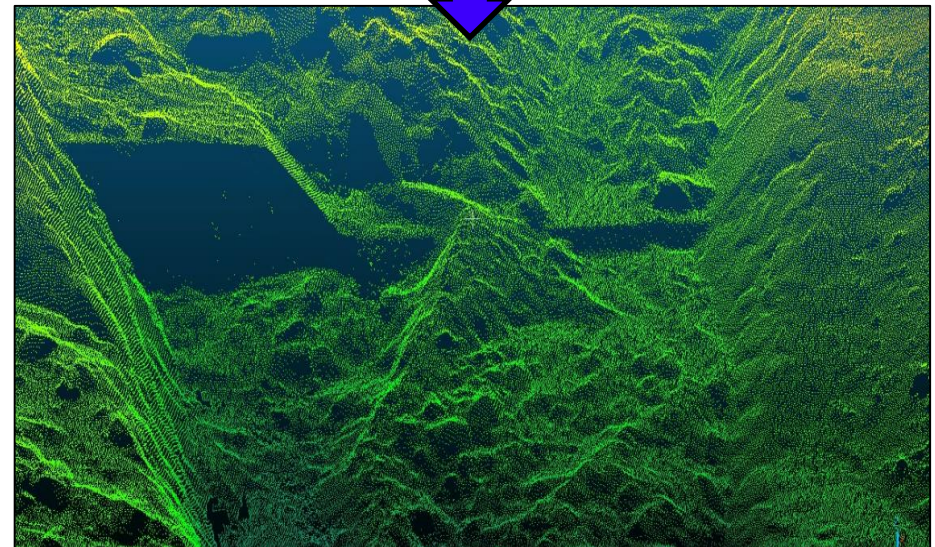
## Ricetta

### 3) Generazione nuvola di punti con software fotogrammetrici

Foto



Nuvola  
densa



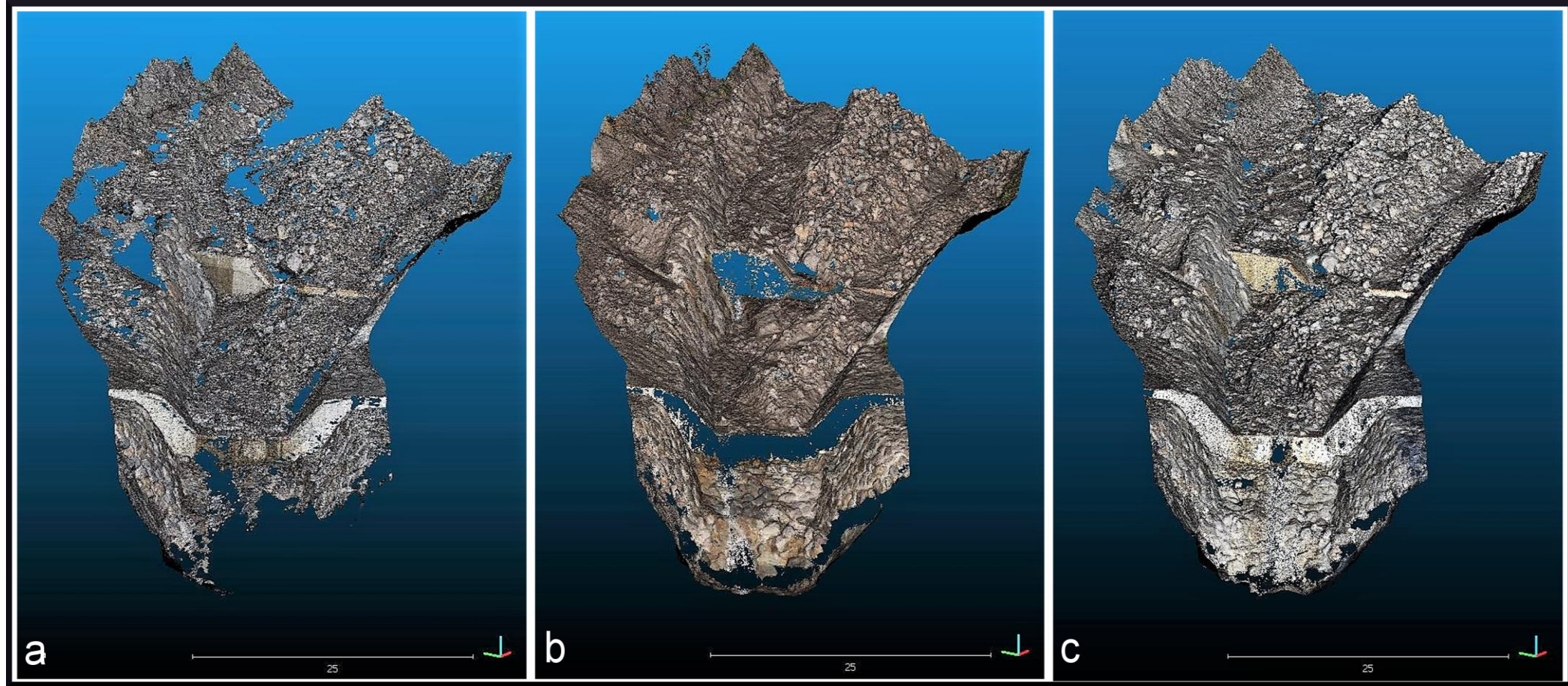
  
Metashape



## Ricetta

### 3) Generazione nuvola di punti con software fotogrammetrici

Cucchiaro et al. (2018), *EES*



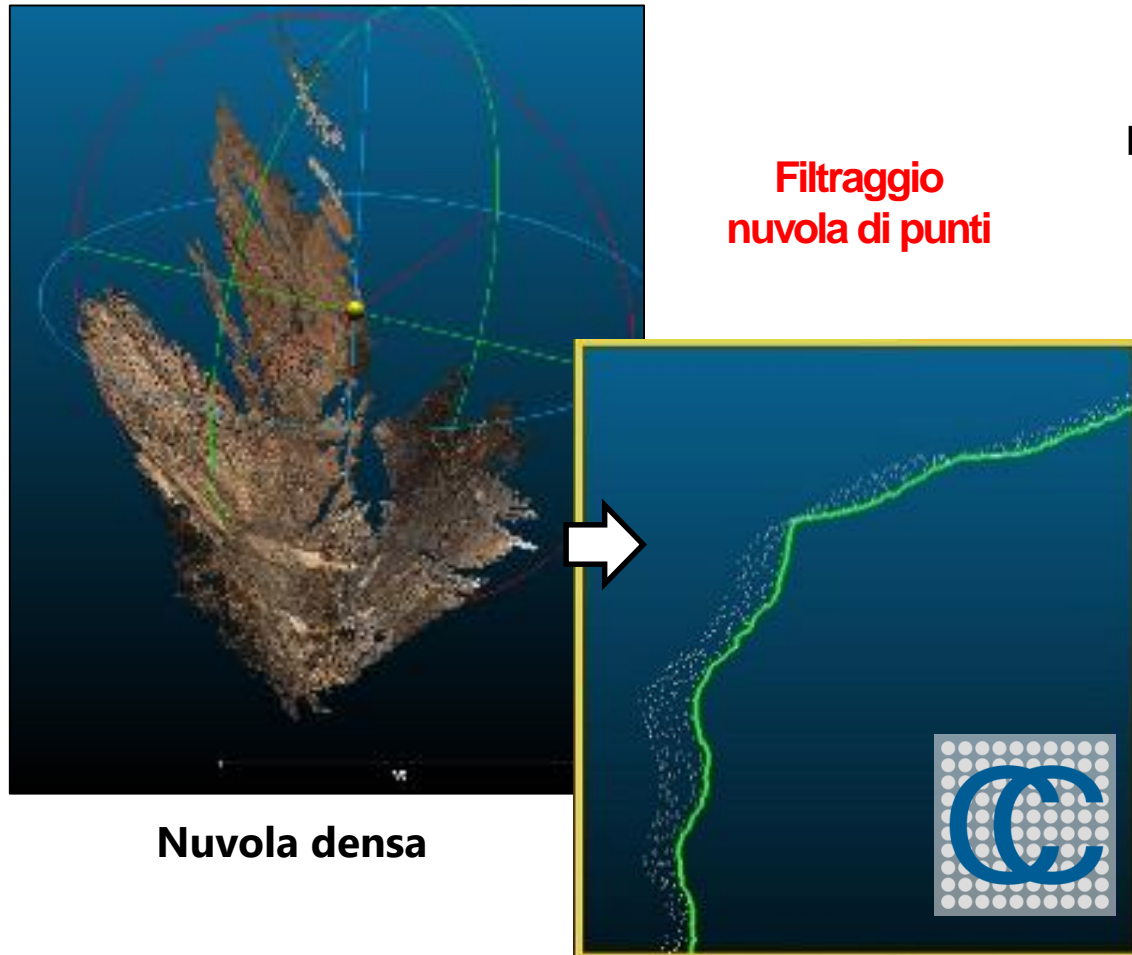
**Agosto 2016:  
SfM terrestre**  
Densità: 6944 punti/m<sup>2</sup>

**Agosto 2017:  
SfM aereo (drone)**  
Densità: 9715 punti/m<sup>2</sup>

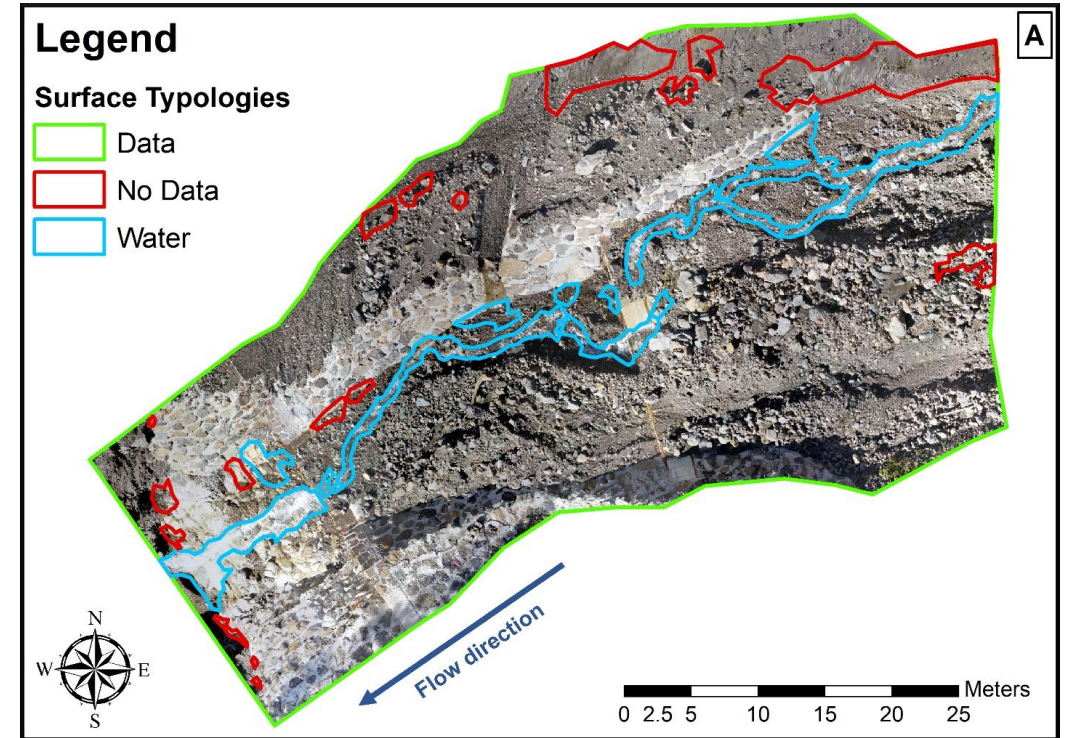
**Ottobre 2016:  
SfM Aereo + Terrestre**  
Densità: 15221 punti/m<sup>2</sup>

## Ricetta

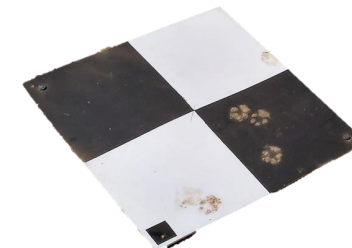
- 4) **Post-processing** dei dati
- 5) **Analisi degli errori** e co-registrazione



## Analisi degli errori



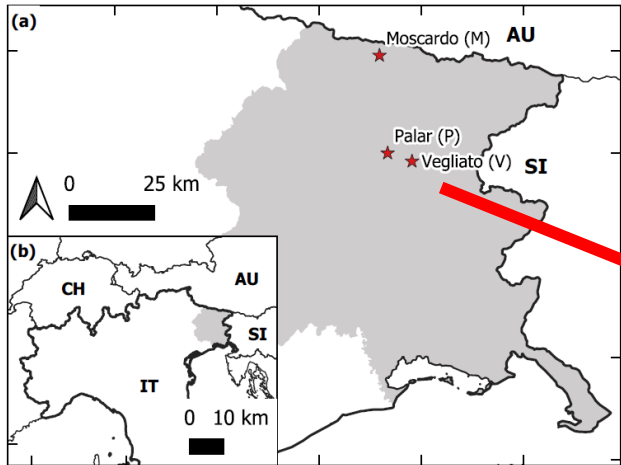
## Errori spazialmente distribuiti



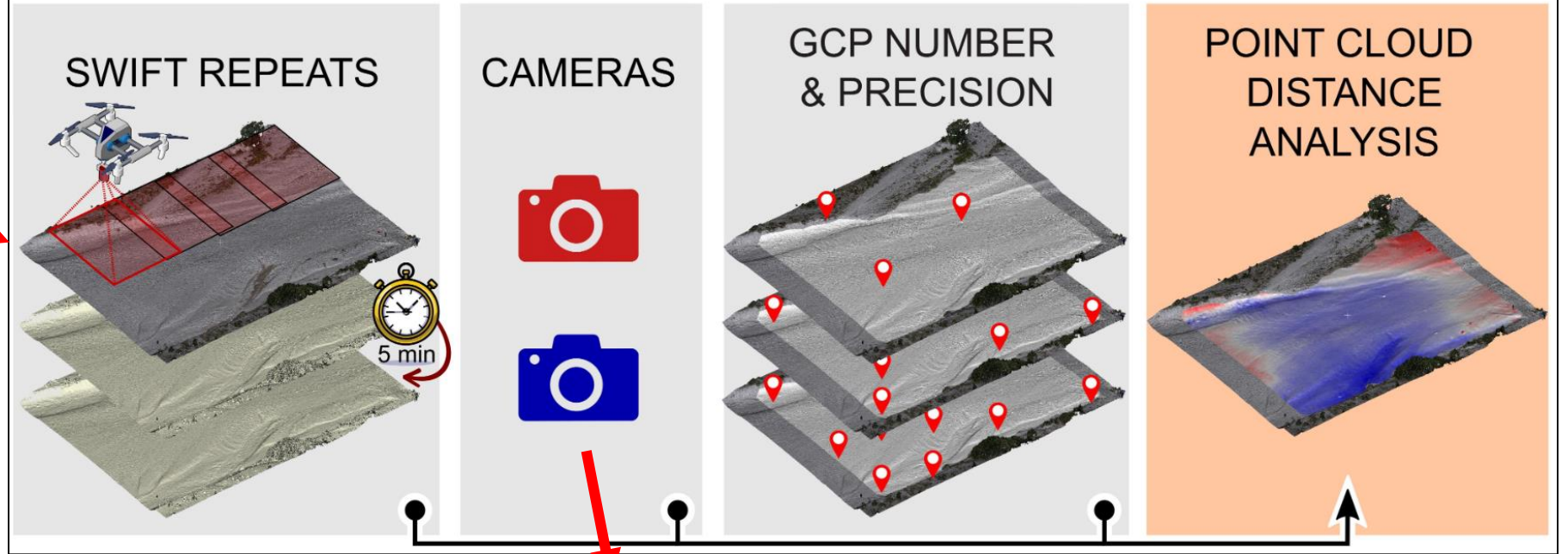
**Quantificazione  
errori mediante  
CPs e GCPs**

# SfM: analisi degli errori

## SfM - REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY ON RIVERBEDS



Bacino del torrente  
Vegliato



Article

### Assessing Repeatability and Reproducibility of Structure-from-Motion Photogrammetry for 3D Terrain Mapping of Riverbeds

Jessica De Marco <sup>1,†</sup>, Eleonora Maset <sup>1,\*</sup>, Sara Cucchiario <sup>1,\*</sup>, Alberto Beinat <sup>3</sup> and Federico Cazorzi <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Agricultural, Food, Environmental and Animal Sciences (DI4A), University of Udine, Via Delle Scienze, 206, 33100 Udine, Italy; jessica.demarco@phd.units.it (J.D.M.); eleonora.maset@uniud.it (E.M.); federico.cazorzi@uniud.it (F.C.)

<sup>2</sup> Department of Life Sciences, University of Trieste (DSV), Via E. Weiss, 2, 34128 Trieste, Italy

<sup>3</sup> Polytechnic Department of Engineering and Architecture (DPIA), University of Udine, Via Delle Scienze, 206, 33100 Udine, Italy; alberto.beinat@uniud.it

\* Correspondence: sara.cucchiario@uniud.it

† These authors contributed equally to this work.

Sony Alpha 5000

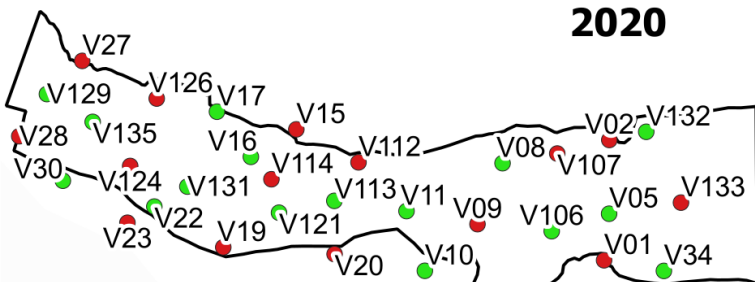
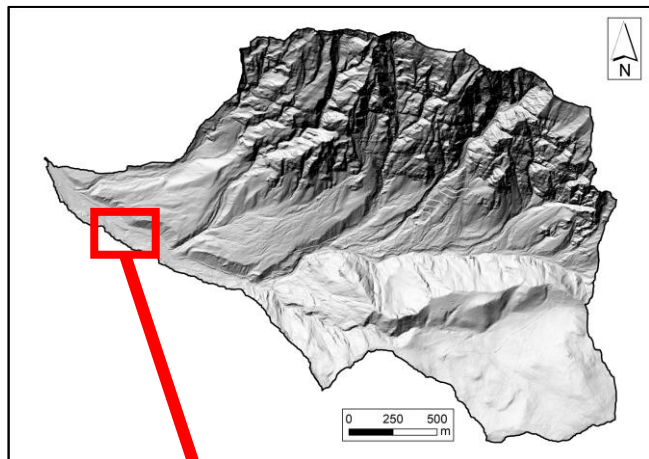


DJI Zenmuse X5S



# SfM: analisi degli errori

## Bacino del torrente Vegliato



- Study area
- GCP
- CP

## CPs & GCPs

### Sony Alpha 5000

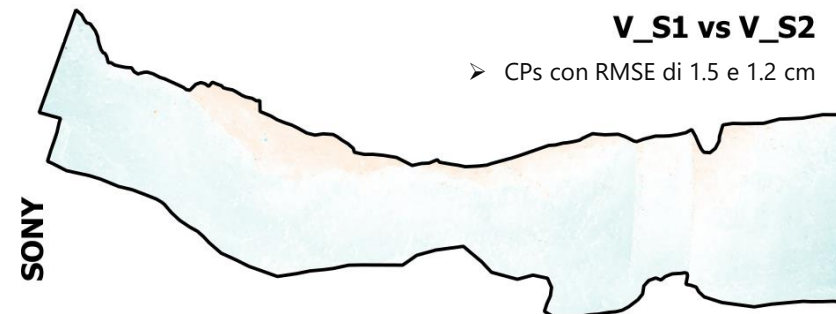


GSD: 10 mm/pix a 35 m di quota

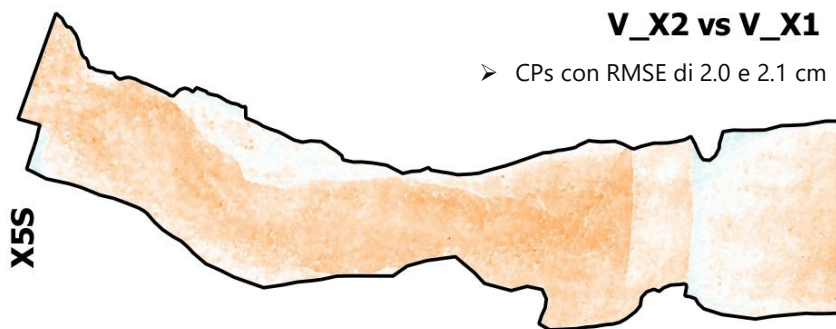
### DJI Zenmuse X5S



GSD: 8 mm/pix a 35 m di quota

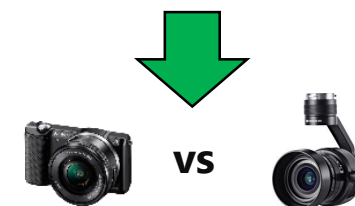


Rilievi ripetuti

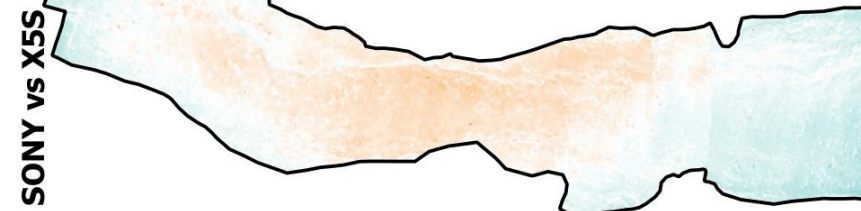


M3C2 Distance [m]

- $\leq -0.10$
- $-0.05$
- $0.00$
- $0.05$
- $> 0.10$



**V\_S1 vs V\_X2**



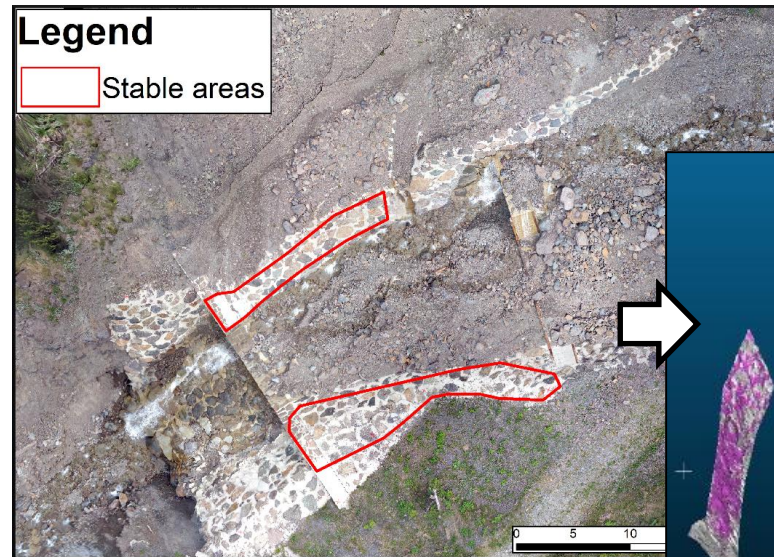
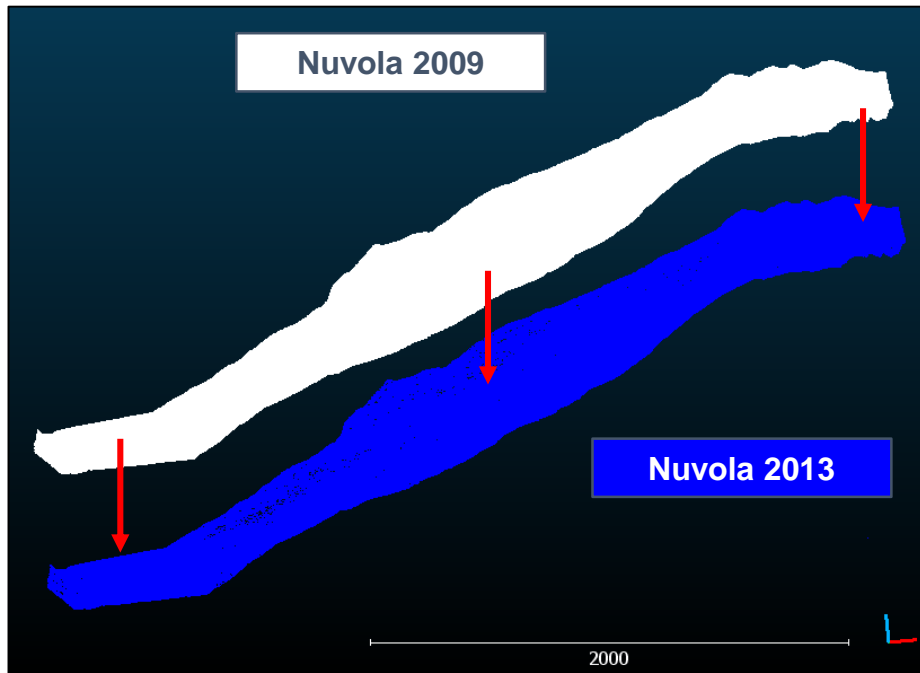


## Ricetta

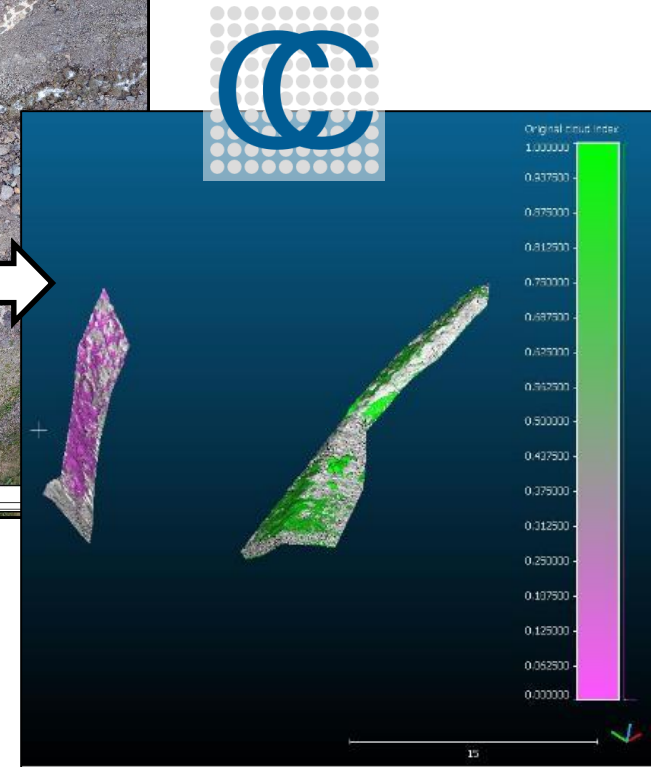
5) Analisi degli errori e **co-registrazione**



- Per punti omologhi
- Per superfici mediante algoritmi ICP (Iterative Closest Point)

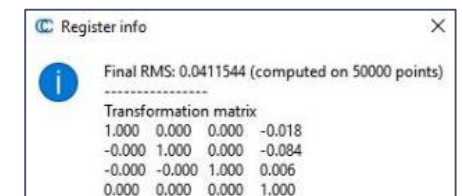
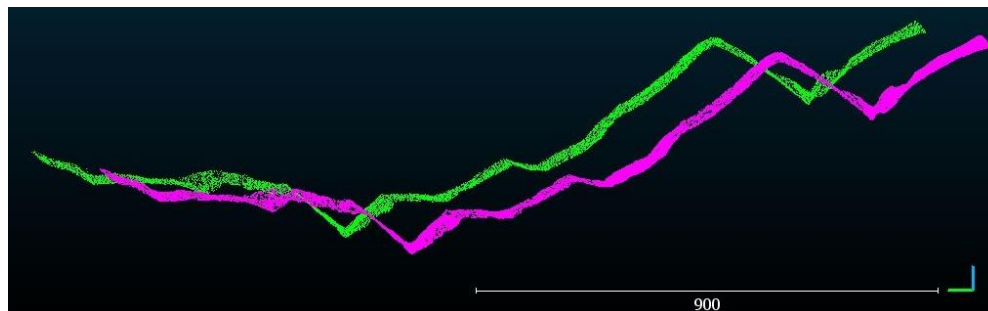


Registrazione partendo da aree stabili



Matrice di registrazione

Rilievi Multi-temporali



## Ricetta

### 6) Produzione degli output

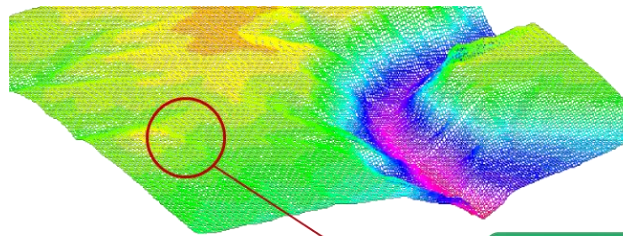
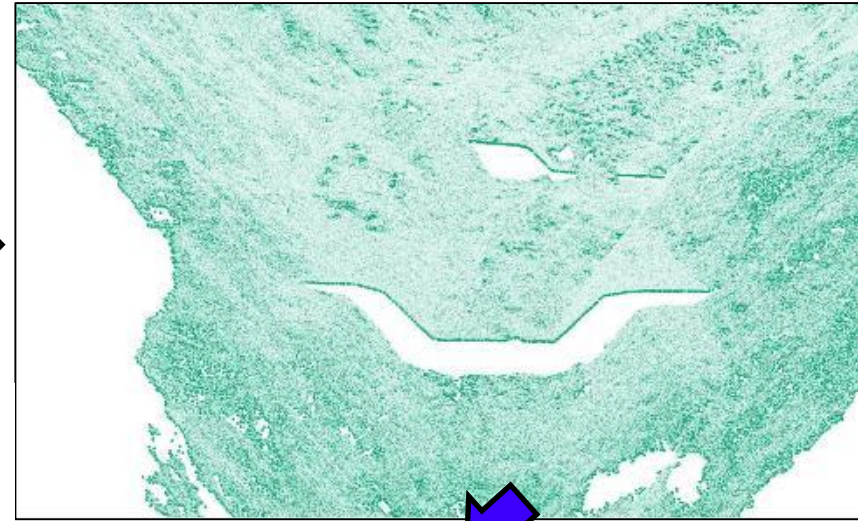
Nuvola di punti 3D software fotogrammetrico



Nuvola di punti 3D in GIS



Export in  
software  
GIS

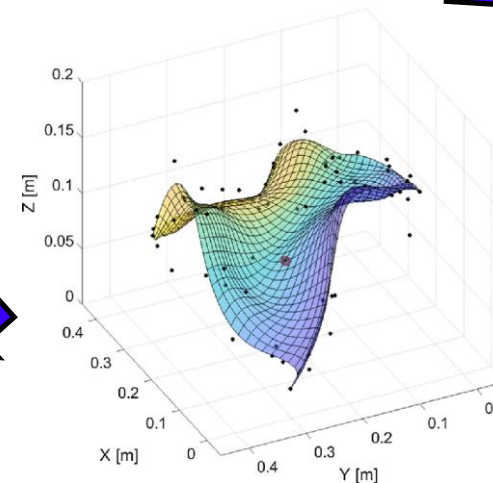
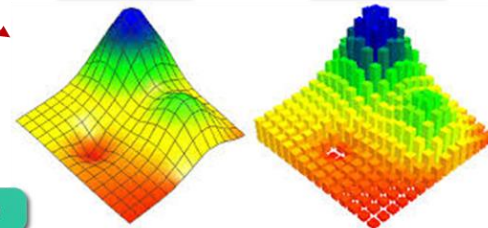


Dalla nuvola di punti al  
**modello digitale del  
terreno (DTM)**

mesh

DTM

interpolazione



Informazione «di  
partenza» viene  
**interpolata per la  
creazione della  
superficie**

## Ricetta

### 6) Produzione degli output

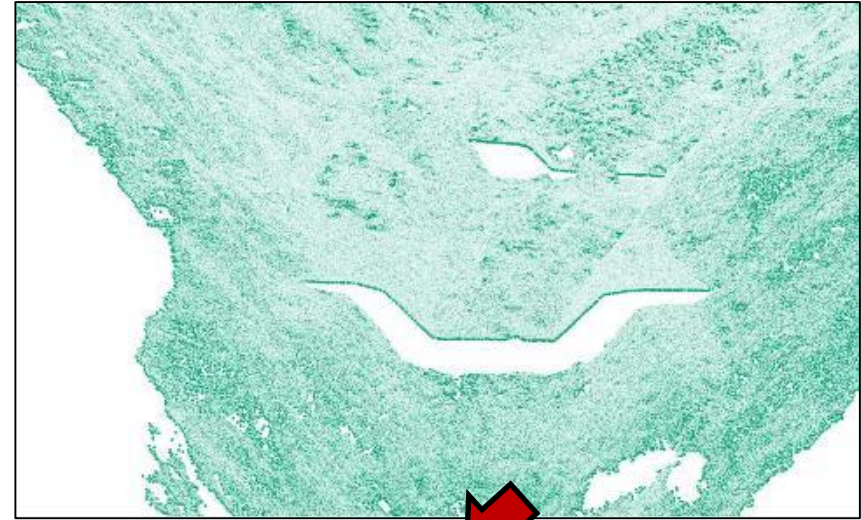
Nuvola di punti 3D software fotogrammetrico



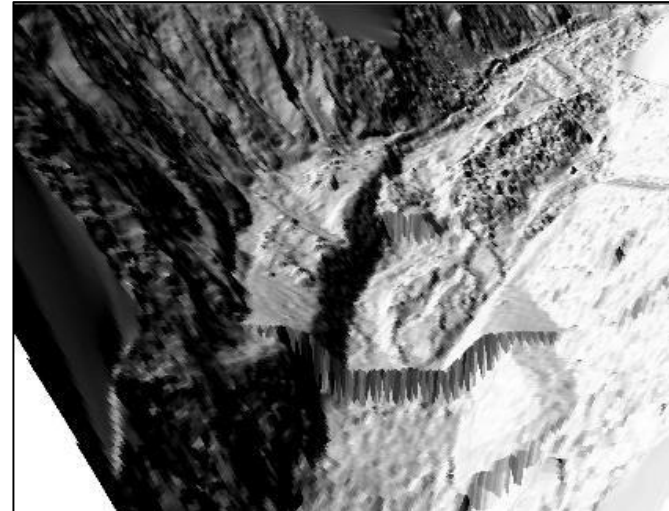
Export in  
software  
GIS



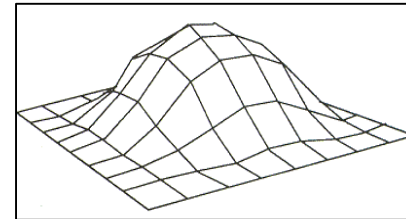
Nuvola di punti 3D in GIS



Dalla nuvola di punti al  
**modello digitale del  
terreno (DTM)**



DTM di tipo "Raster"



Informazione «di  
partenza» viene  
**interpolata per la  
creazione della  
superficie**

Area: **4000 m<sup>2</sup>**

Number of photos: **350**

Target: **10 CP and 25 GCP**

Flight height: **20 m**

Point cloud: **47,880,309 pts**

Point cloud density: **12,258 pts/m<sup>2</sup>**

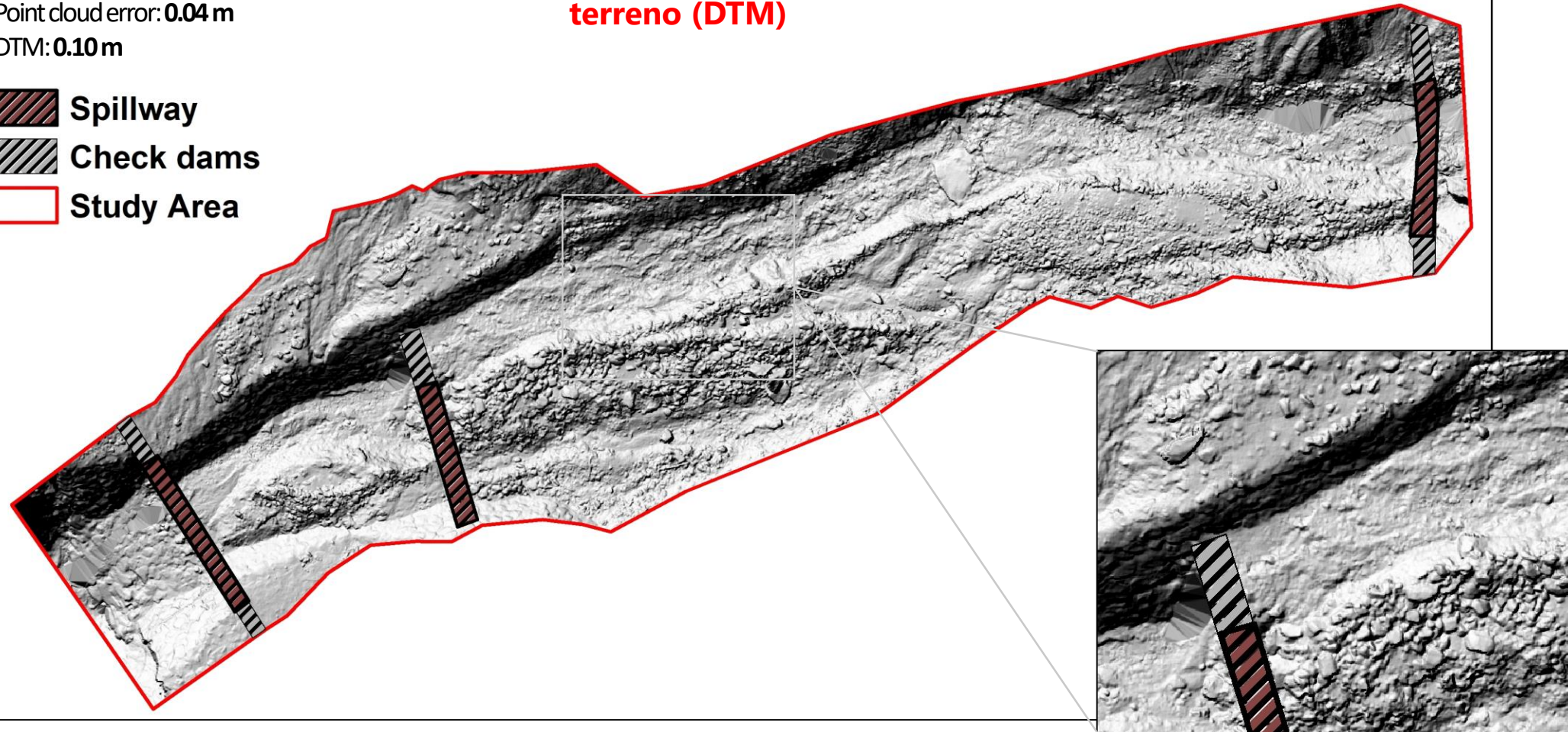
Point cloud error: **0.04 m**

DTM: **0.10 m**



## Dalla nuvola di punti al modello digitale del terreno (DTM)

-  **Spillway**
-  **Check dams**
-  **Study Area**

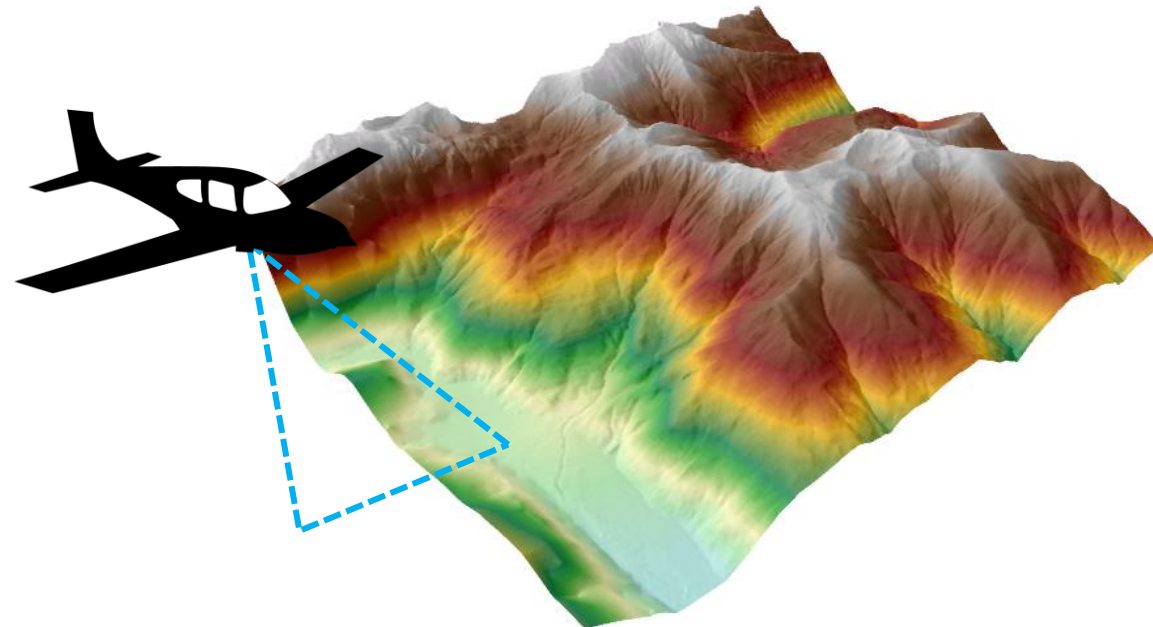
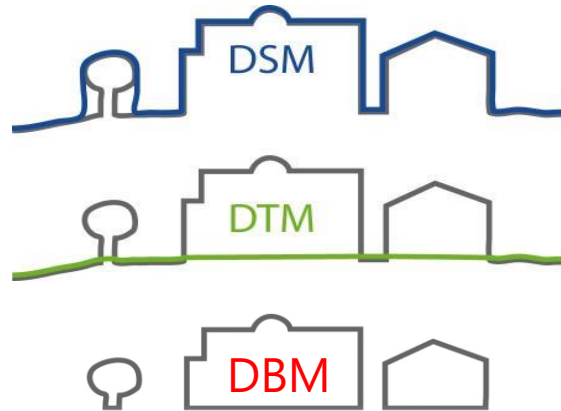
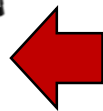


## Modelli Digitali del Terreno



Rappresentazione digitale dell'andamento altimetrico del territorio, adatta alle elaborazioni che possono essere effettuate in un GIS.

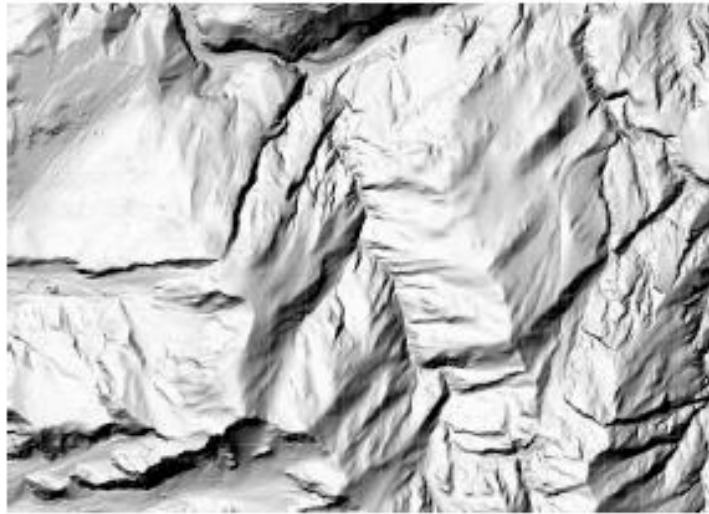
- **DTM (Digital Terrain Model):** modello altimetrico del terreno
- **DSM (Digital Surface Model):** modello altimetrico comprendente tutti gli elementi naturali e artificiali della superficie terrestre (alberi ed edifici)
- **DBM (Digital Building Model):** modello altimetrico del soprasuolo



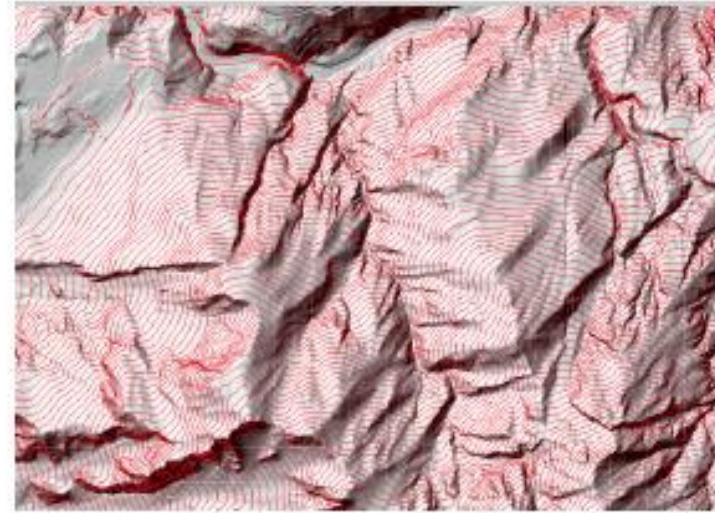
# Output dei rilievi topografici

**Prodotti  
derivabili dai  
DTM**

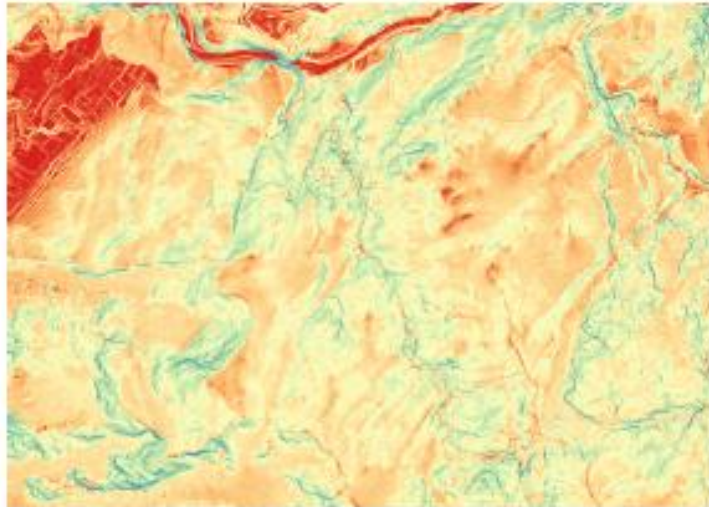
Ombreggiatura



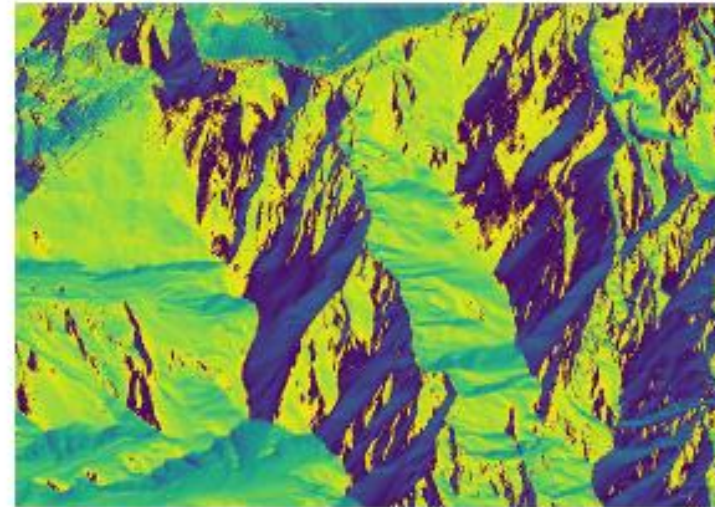
Curve di livello



Mappa delle pendenze



Mappa di esposizione



# SfM: DoD - differenza di DTM

DTM multi-temporali

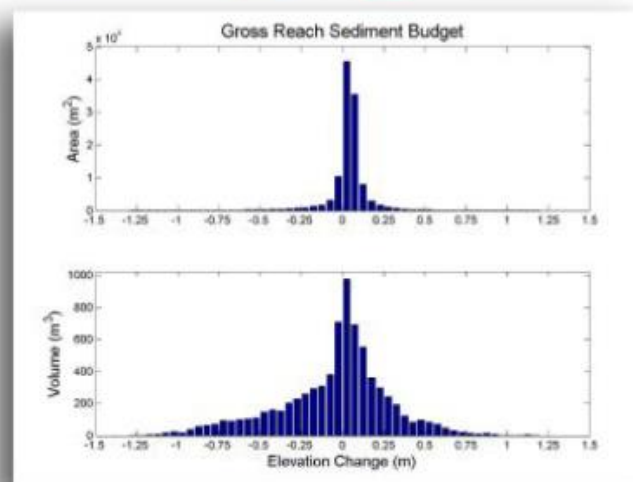
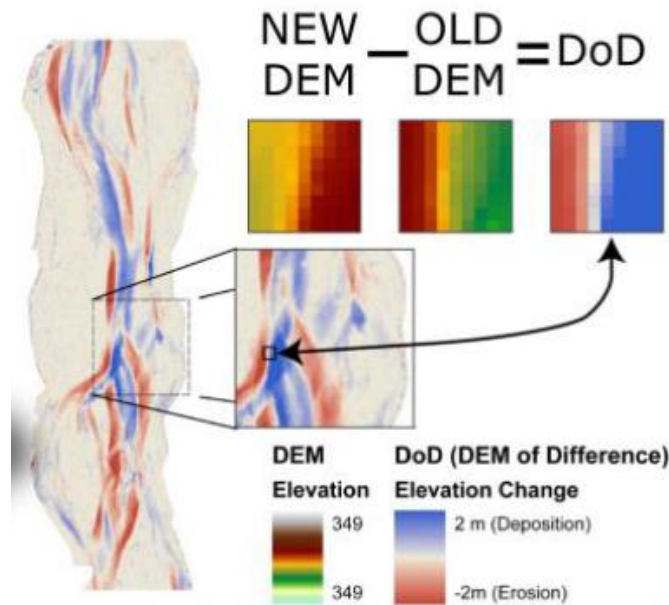
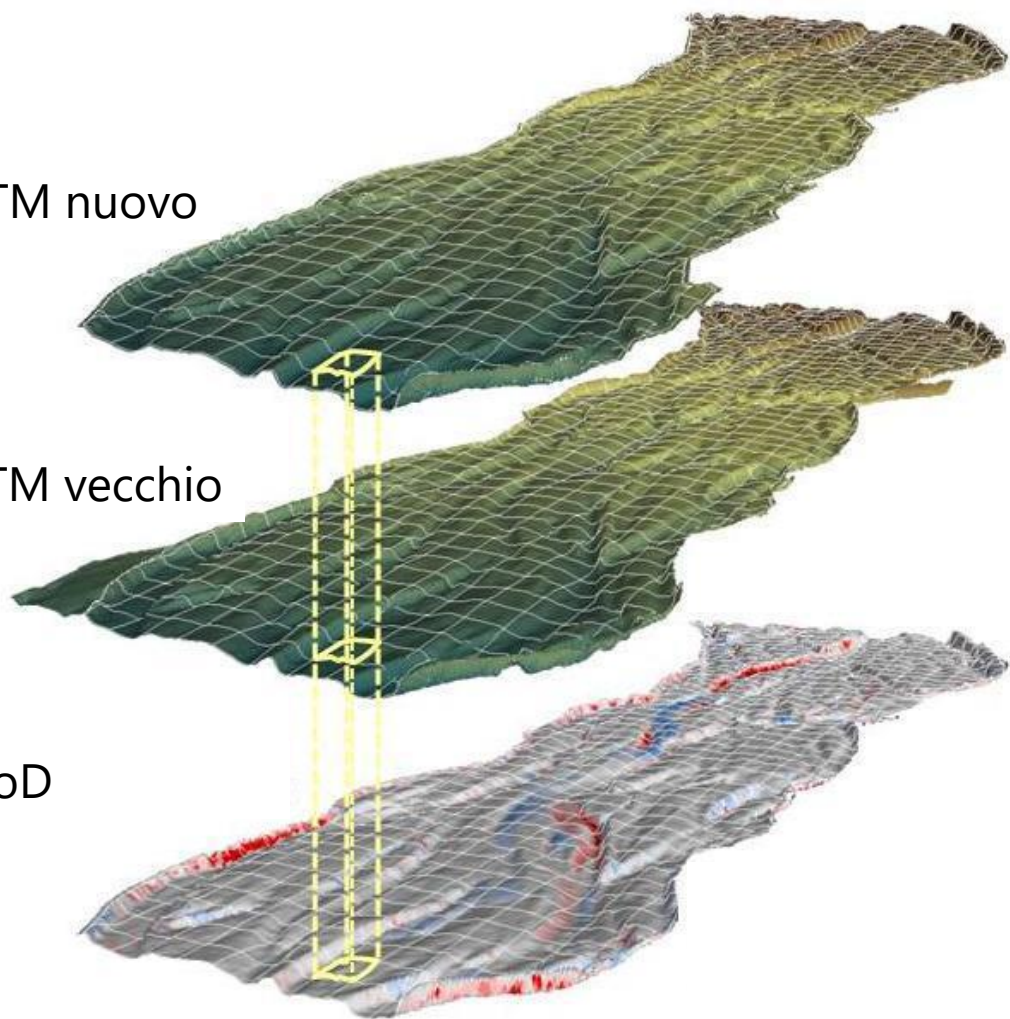


$$\text{Differenza di DTM (DoD)} = \text{DTM}_{\text{NEW}} - \text{DTM}_{\text{OLD}}$$

DTM nuovo

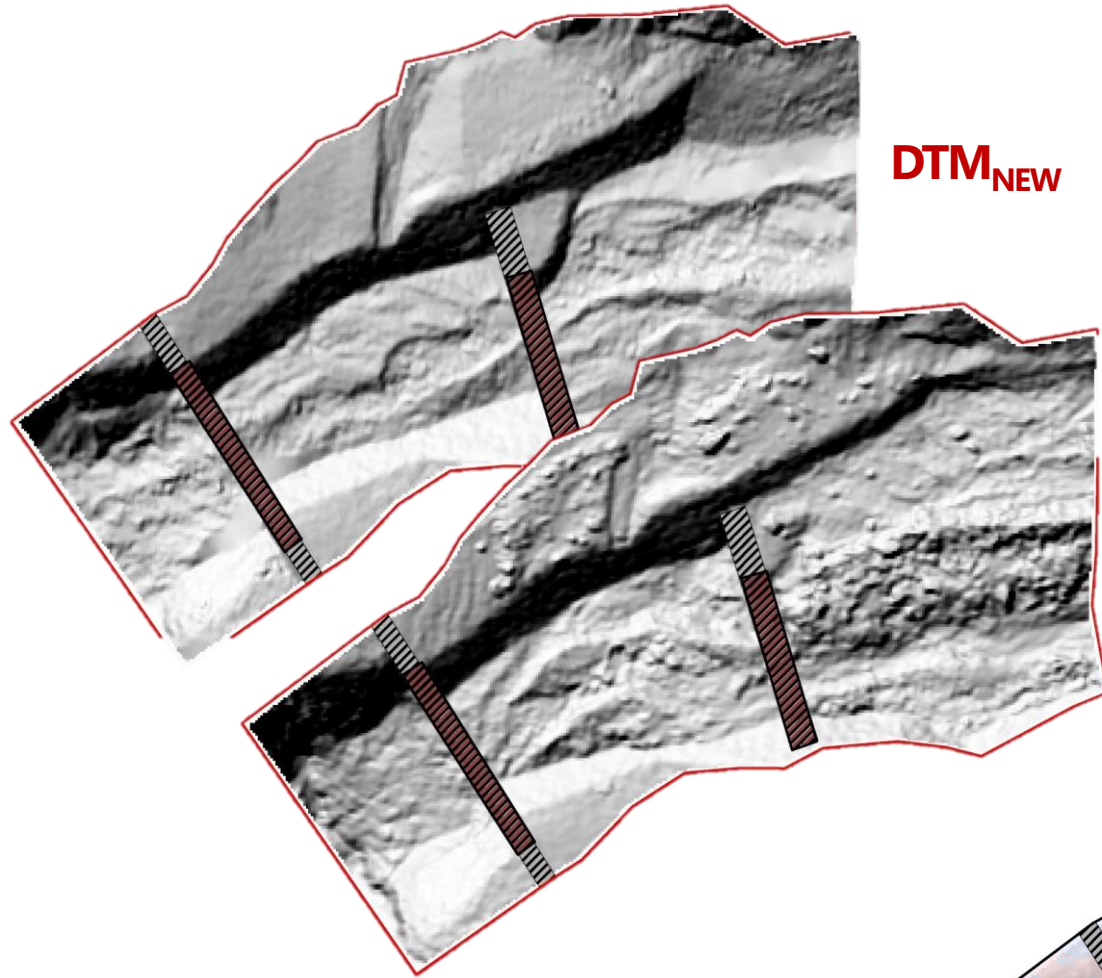
DTM vecchio

DoD



# SfM: DoD - differenza di DTM

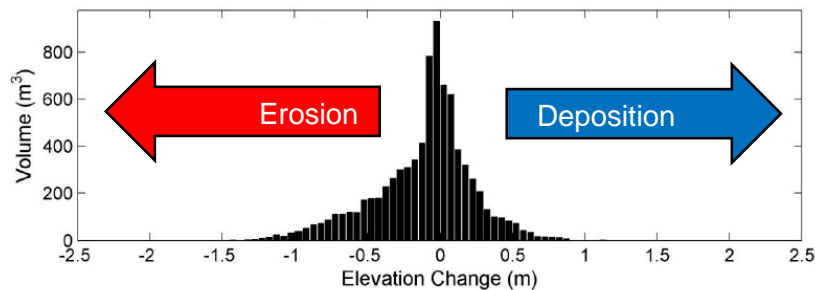
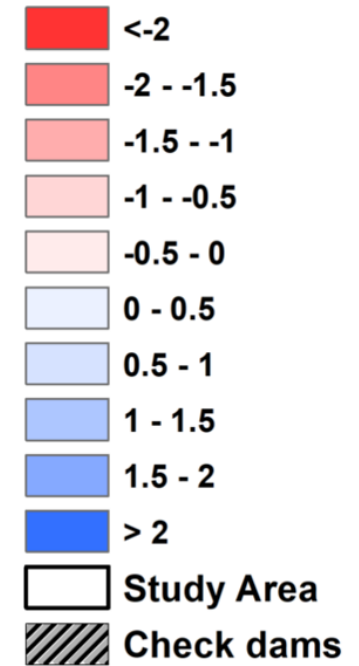
$$\text{Differenza di DTM (DoD)} = \text{DTM}_{\text{NEW}} - \text{DTM}_{\text{OLD}}$$



-  $\text{DTM}_{\text{OLD}}$

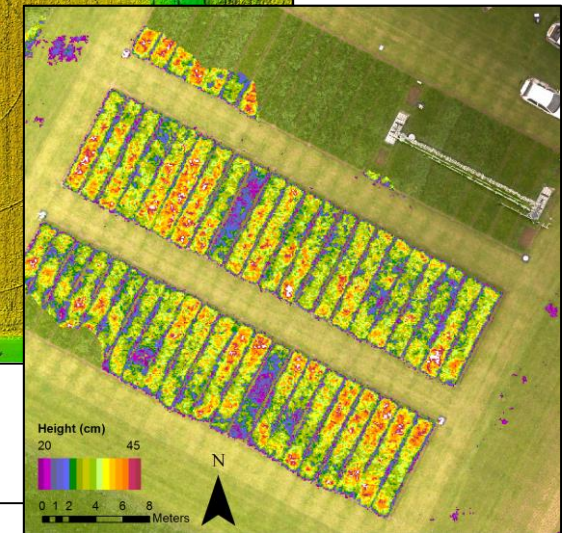
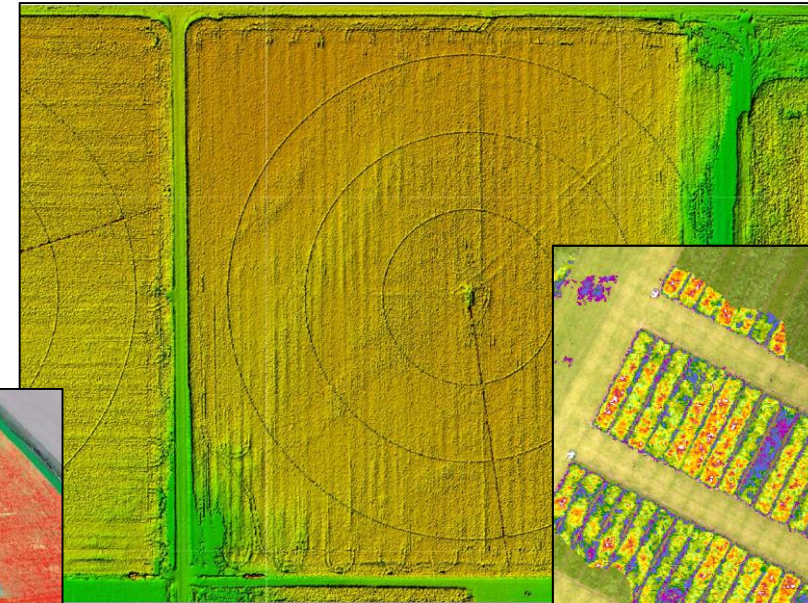
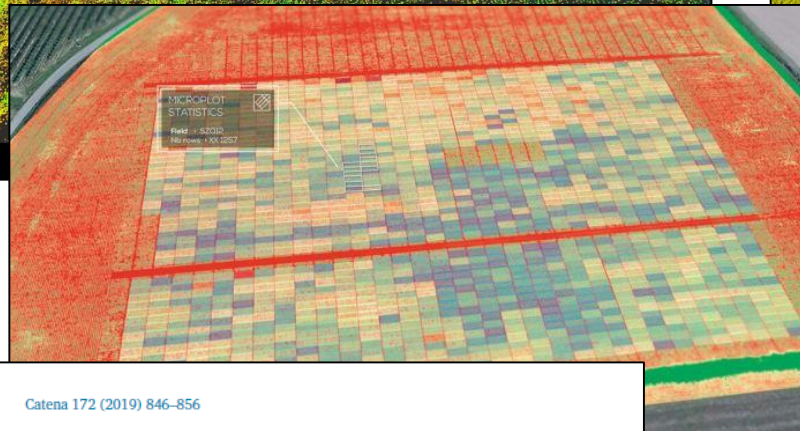
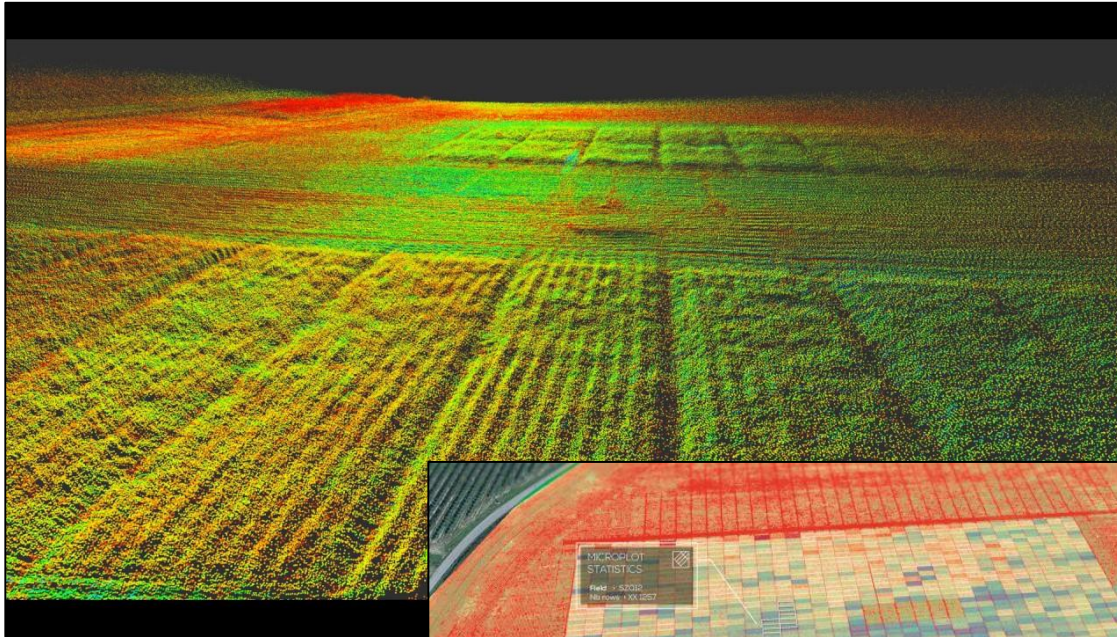
= DoD

Elevation Difference (m)



0 2.5 5 10 15 20 25 Meters





Catena 172 (2019) 846–856

Contents lists available at ScienceDirect

**Catena**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/catena](http://www.elsevier.com/locate/catena)

High-resolution morphologic characterization of conservation agriculture

Paolo Tarolli<sup>a,\*</sup>, Marco Cavalli<sup>b</sup>, Roberta Masin<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, PD, Italy

<sup>b</sup> CNR IRPI, Corso Stati Uniti 4, 35127 Padova, Italy

<sup>c</sup> Department of Agronomy, Food, Natural resources, Animals and Environment, University of Padova, Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, PD, Italy

EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS  
*Earth Surf. Process. Landforms* **40**, 741–755 (2015)  
Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Ltd.  
Published online 26 November 2014 in Wiley Online Library  
(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/esp.3673

## Multi-temporal UAV data for automatic measurement of rill and interrill erosion on loess soil

Anette Eltner,<sup>1\*</sup> Philipp Baumgart,<sup>2</sup> Hans-Gerd Maas<sup>1</sup> and Dominik Faust<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Dresden University of Technology, Dresden, Germany  
<sup>2</sup> Institute of Geography, Dresden University of Technology, Dresden, Germany

Area di studio: Plot sperimentali nell'azienda agraria dell'Università di Padova



**Agricoltura Conservativa**

**VS**

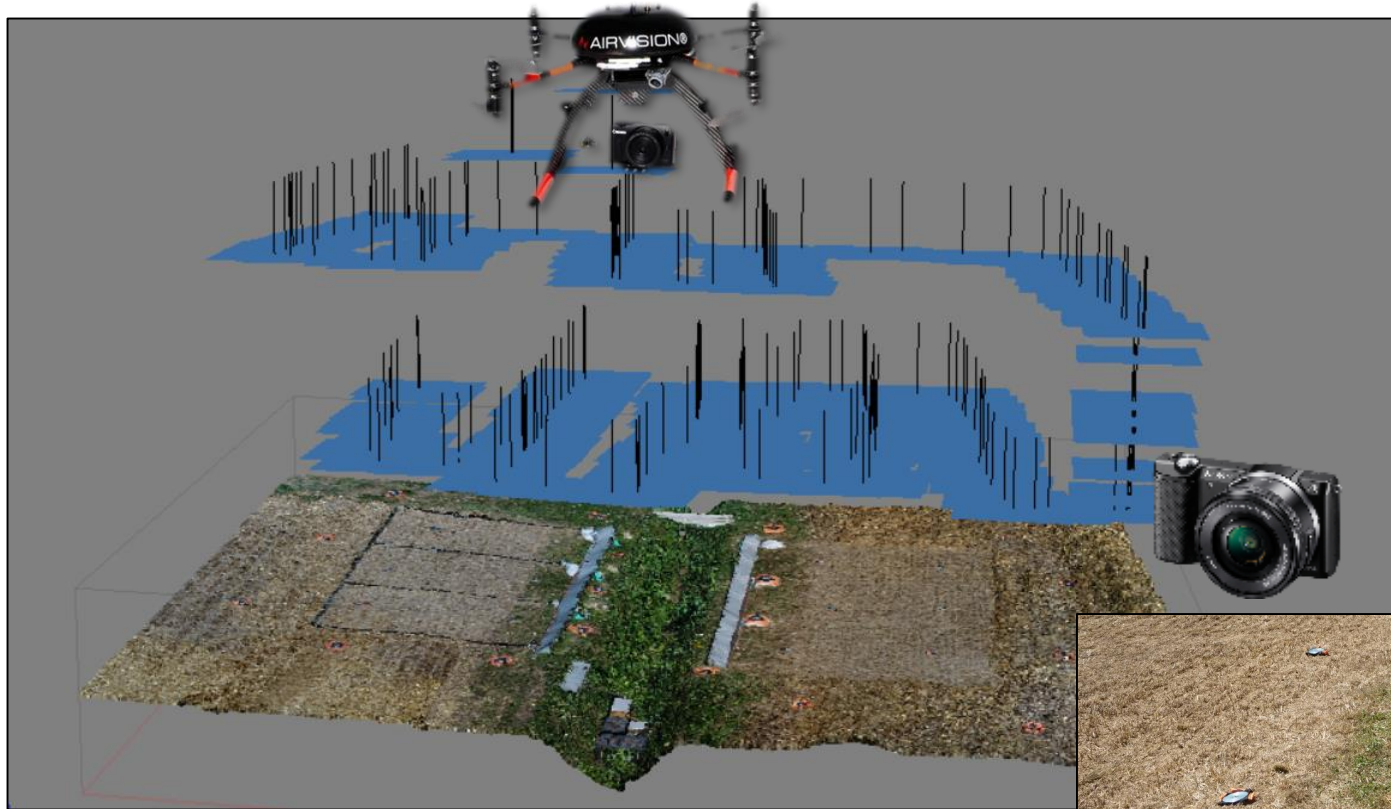
**Agricoltura convenzionale**



**Valutazione dei processi erosivi**



# SfM: applicazioni in agricoltura



SfM terrestre  
e da drone

Area: **38 m<sup>2</sup>**  
Number of photos: **216**  
Target: **13 CP and 17 GCP**  
Point cloud: **37,378,963 pts**  
Point cloud density: **983,656 pts/m<sup>2</sup>**  
Point cloud error: **0.015 m**  
DTM: **0.02 m**



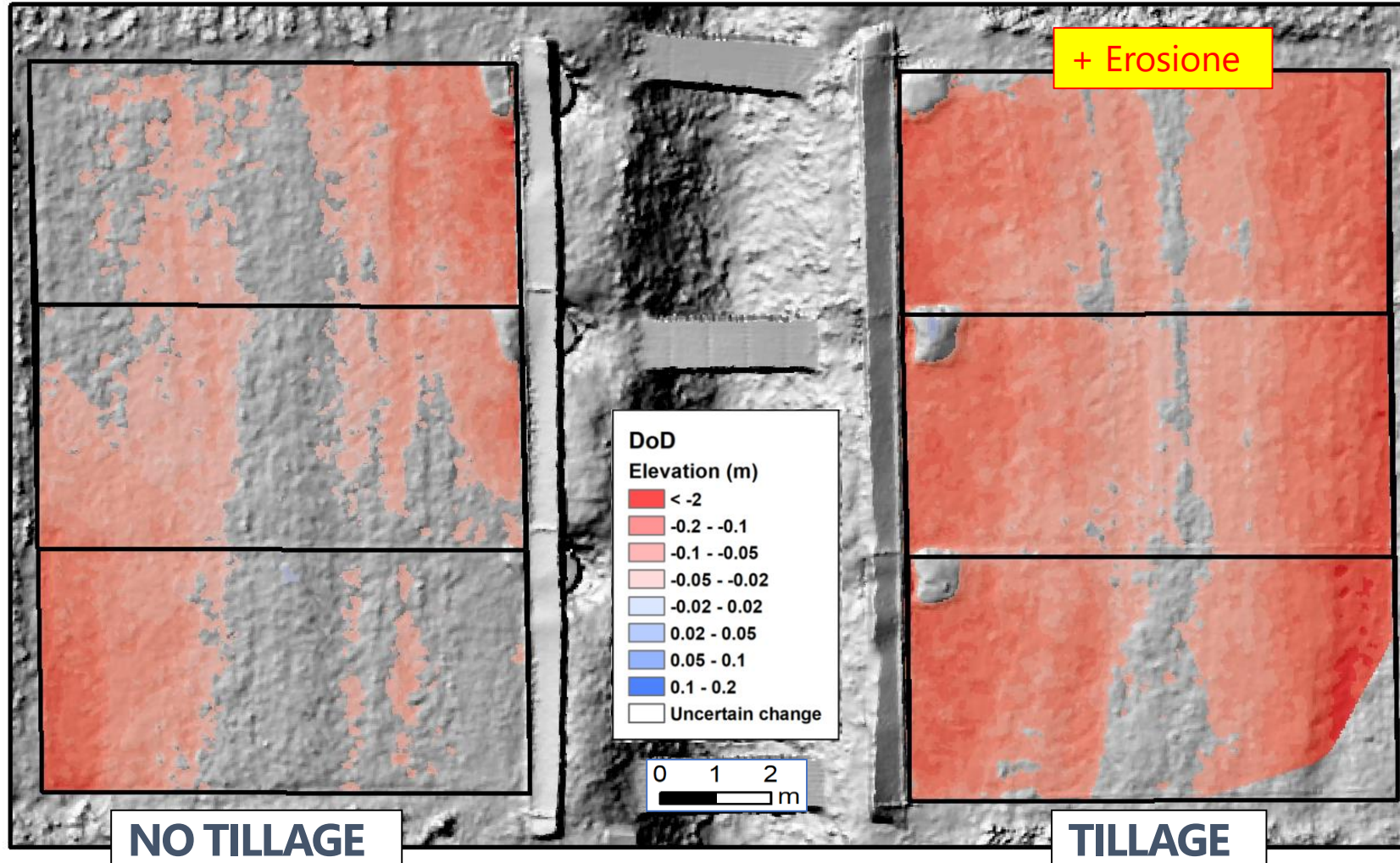


$$\text{Difference of DTM (DoD)} = \text{DTM}_{2019} - \text{DTM}_{2018}$$

**Agricoltura Conservativa**

**VS**

**Agricoltura Convenzionale**

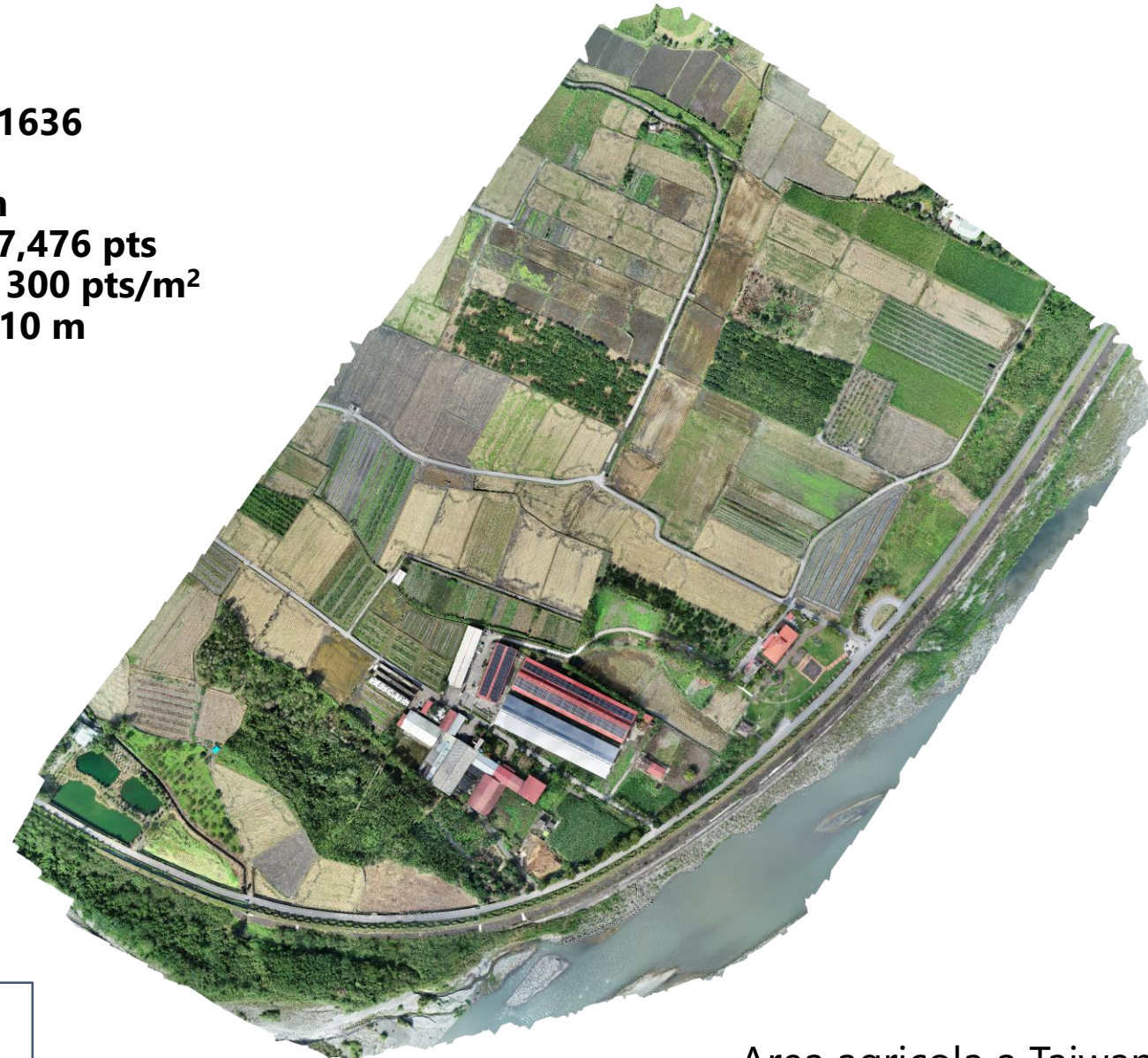


# SfM: applicazioni in agricoltura

Area: **80 ha**  
Number of photos: **1636**  
Target: **31 GCP**  
Flight height: **200 m**  
Point cloud: **243,557,476 pts**  
Point cloud density: **300 pts/m<sup>2</sup>**  
Point cloud error: **0.10 m**  
DTM: **0.20 m**

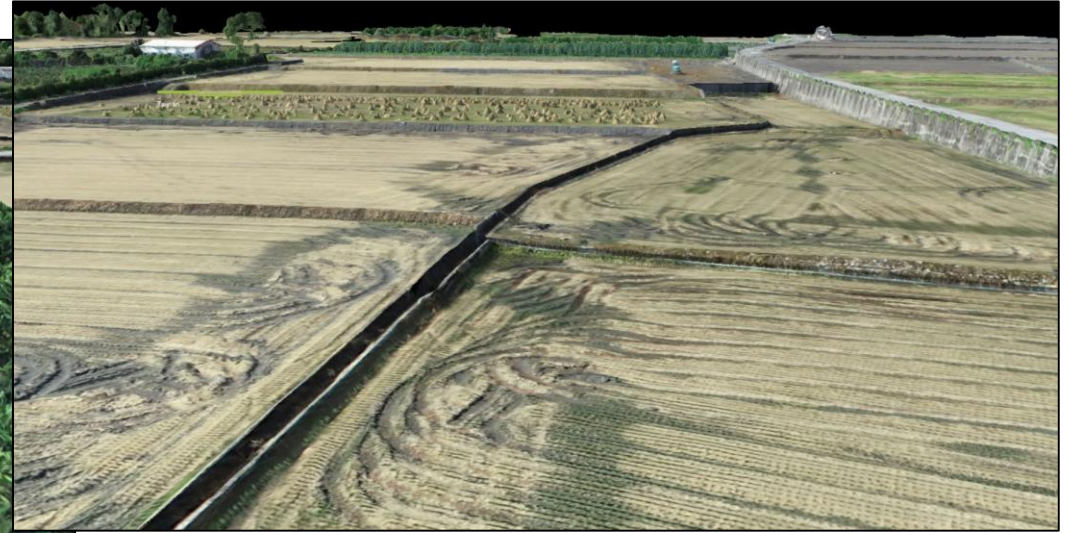


Rilievo UAV:  
Phantom 4 Pro

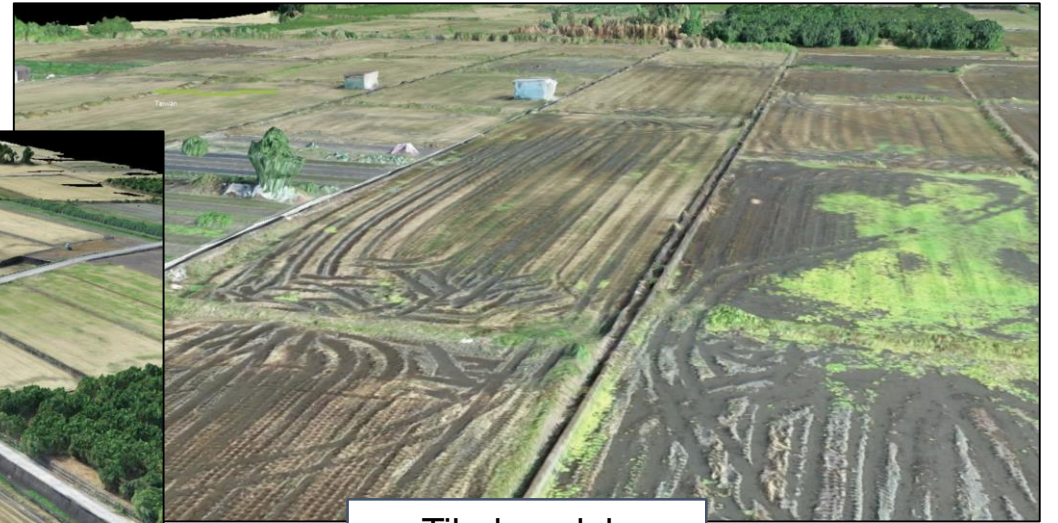


Area agricola a Taiwan

# SfM: applicazioni in agricoltura



GCP



Tiled models

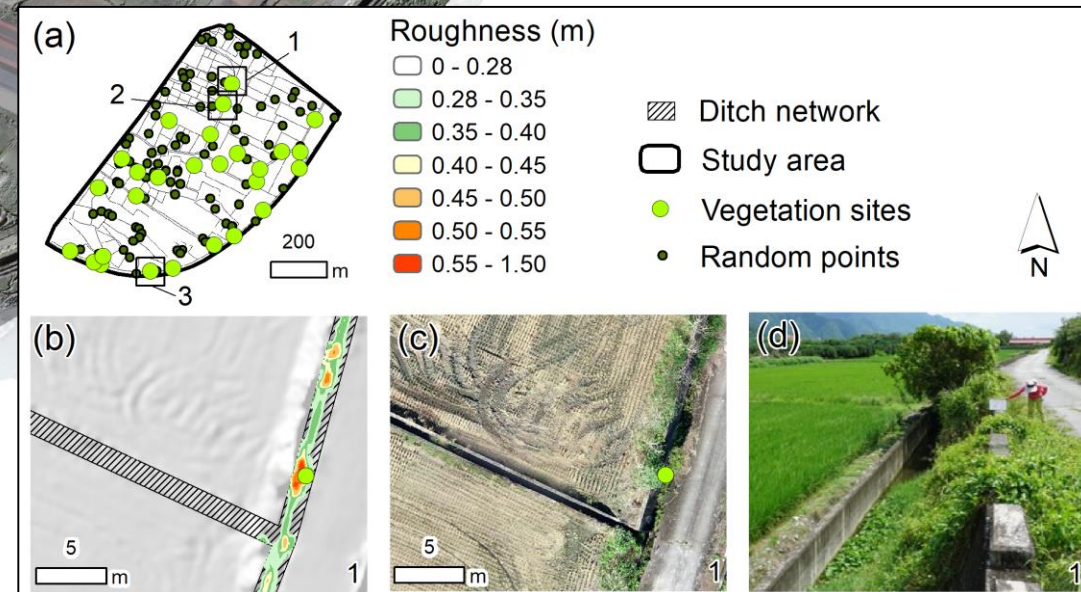
Area agricola a Taiwan

# SfM: applicazioni in agricoltura



Vegetazione nella rete irrigua

DTM: 0.20 m







Article

## Multiplatform-SfM and TLS Data Fusion for Monitoring Agricultural Terraces in Complex Topographic and Landcover Conditions

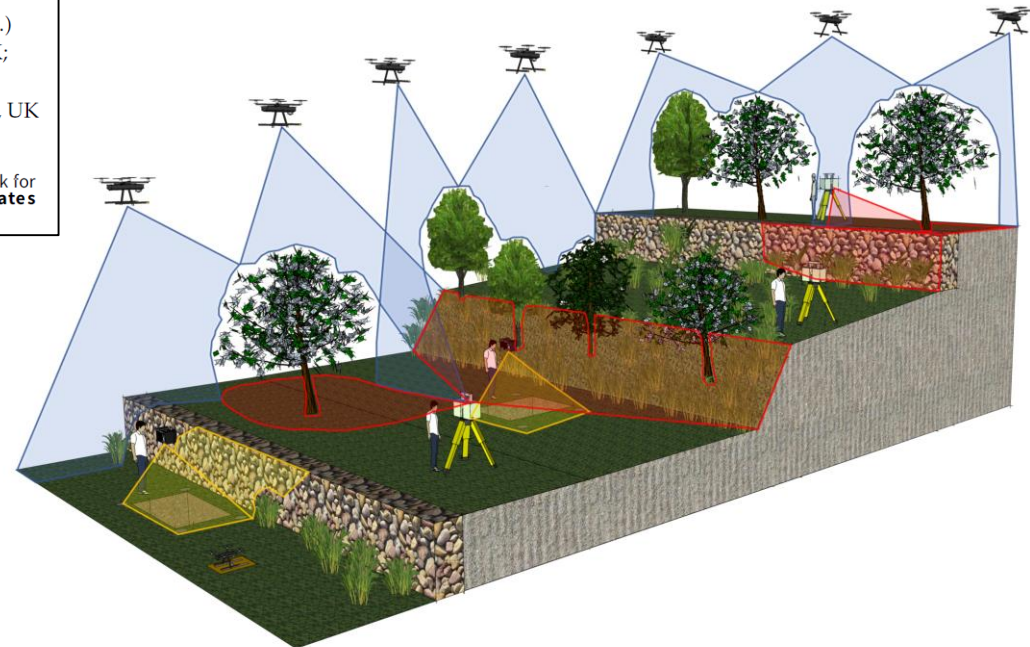
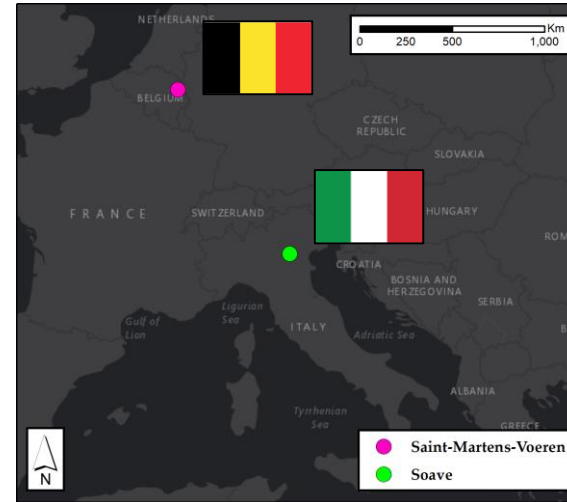
Sara Cucchiaro <sup>1,\*</sup>, Daniel J. Fallu <sup>2</sup>, He Zhang <sup>3</sup>, Kevin Walsh <sup>4</sup>, Kristof Van Oost <sup>3</sup>, Antony G. Brown <sup>2,5</sup> and Paolo Tarolli <sup>1</sup>

- <sup>1</sup> Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, Italy; paolo.tarolli@unipd.it
  - <sup>2</sup> Tromsø University Museum, UiT The Arctic University of Norway, Kvaløyen 30, 9013 Tromsø, Norway; daniel.j.fallu@uit.no (D.J.F.); antony.g.brown@uit.no (A.G.B.)
  - <sup>3</sup> Earth and Life Institute, Georges Lemaître Centre for Earth and Climate Research, UCLouvain, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgium; he.zhang@uclouvain.be (H.Z.); kristof.vanoost@uclouvain.be (K.V.O.)
  - <sup>4</sup> Department of Archaeology, The Kings Manor, University of York, York YO1 7EP, North Yorkshire, UK; kevin.walsh@york.ac.uk
  - <sup>5</sup> Geography and Environmental Science, University of Southampton, Highfield SO17 1BJ, Southampton, UK
- \* Correspondence: sara.cucchiaro@unipd.it

Received: 14 May 2020; Accepted: 15 June 2020; Published: 17 June 2020



Remote Sens. **2020**, *12*, 1946; doi:10.3390/rs12121946



## Data Fusion in aree terrazzate vegetate



**Belgio**

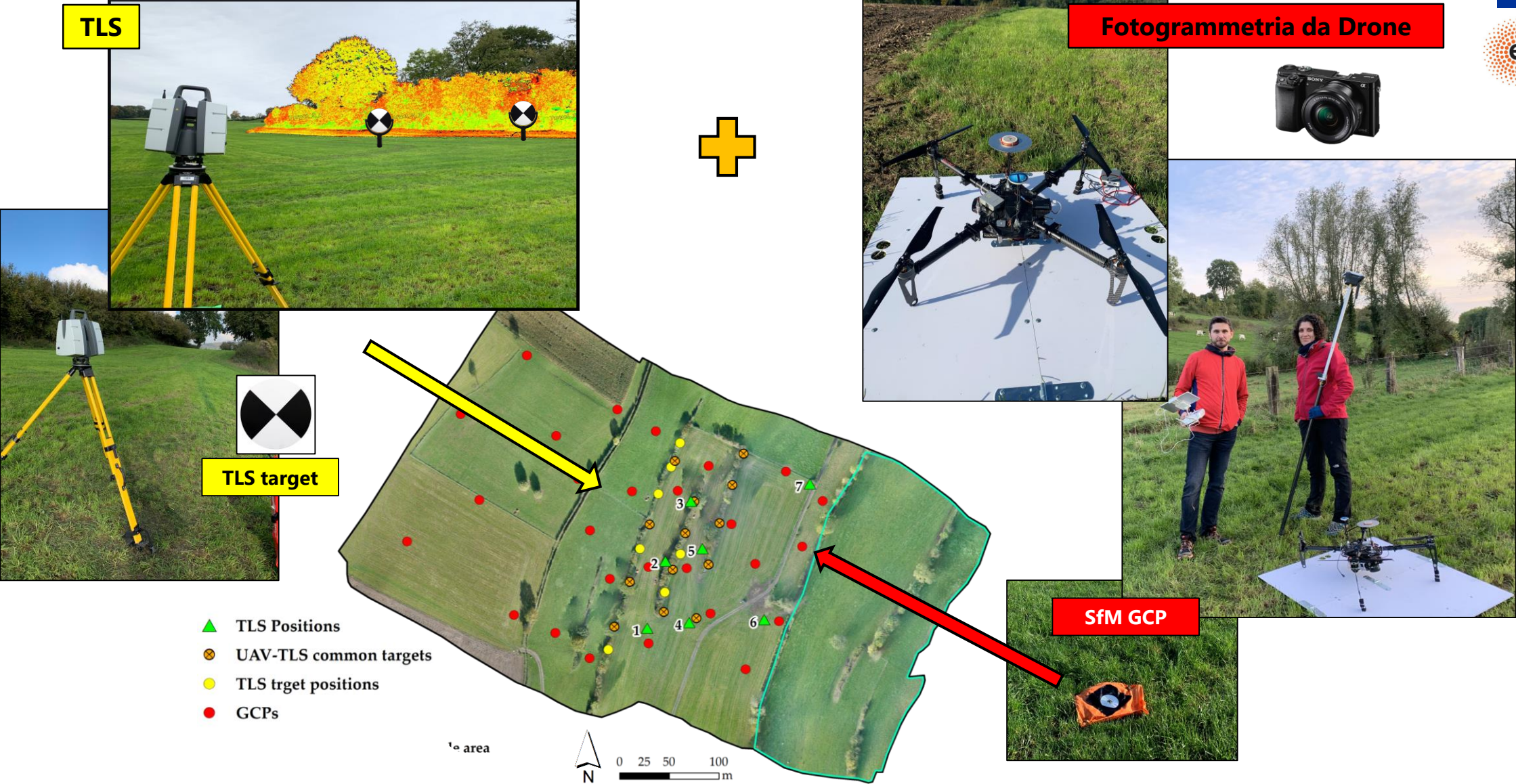
**Pays de Herve: Saint-Martens-Voeren**



**Area: 18 ha**

**Complesso di terrazzi vegetati**

## Data Fusion in aree terrazzate vegetate

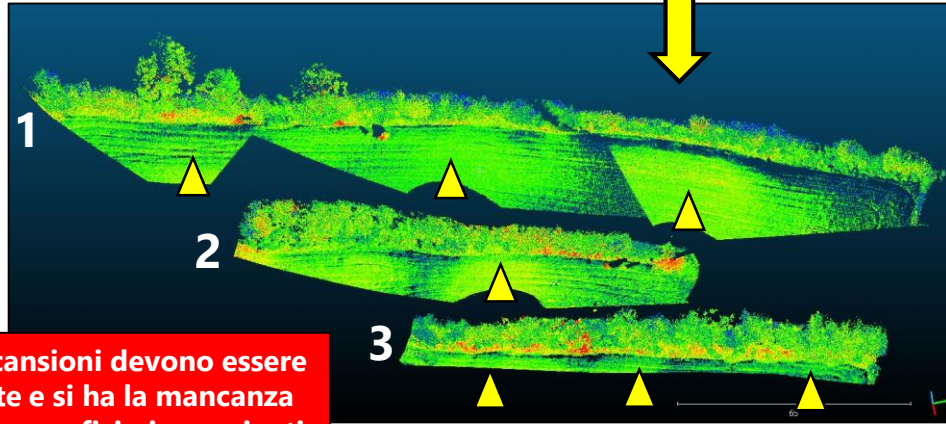


## Data Fusion in aree terrazzate vegetate

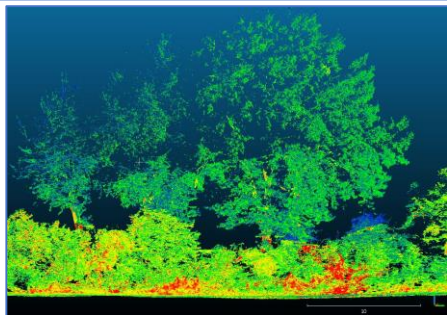
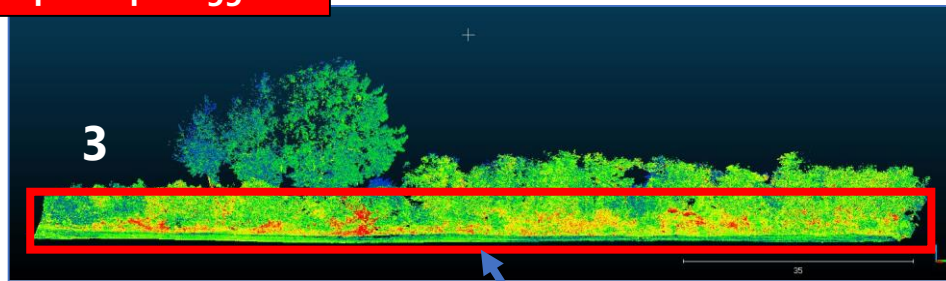
TLS



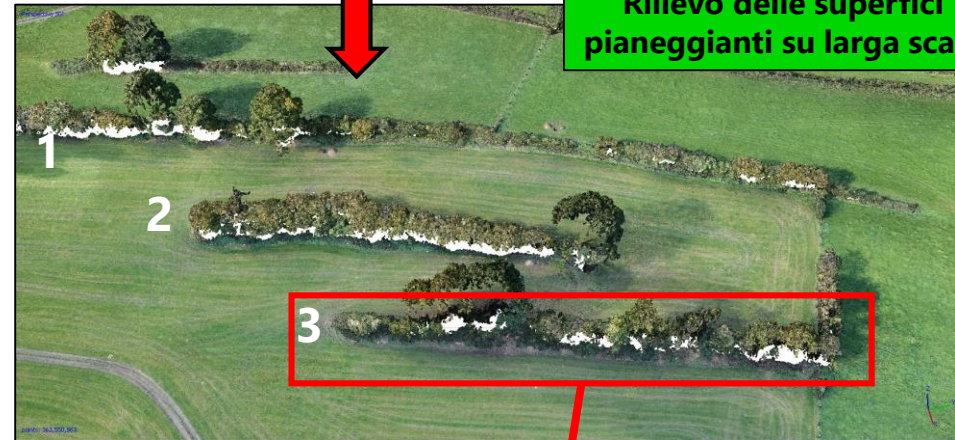
SfM - UAV



Le diverse scansioni devono essere co-registrate e si ha la mancanza di dati nelle superfici piane



Rilievo dei dati anche in aree vegetate e superfici verticali

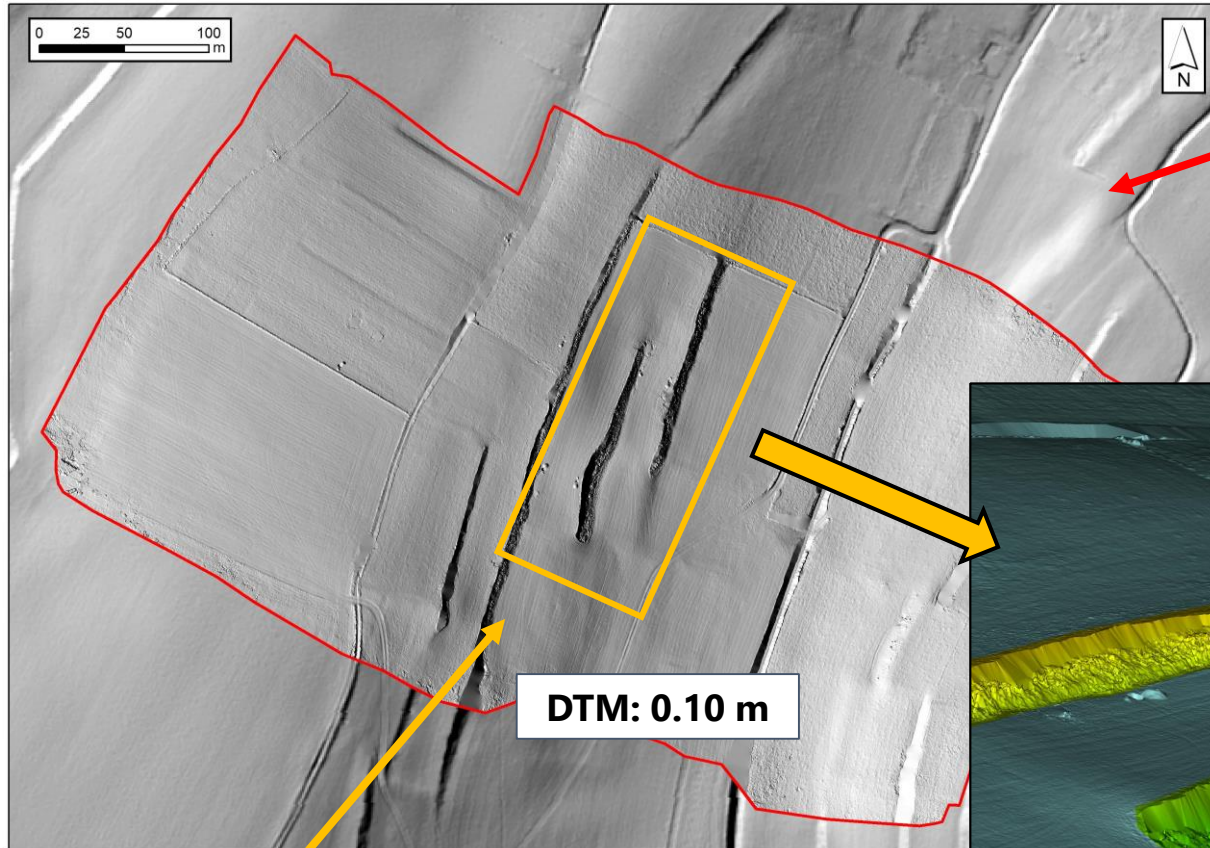


Rilievo delle superfici peggianti su larga scala



"No data" sotto la copertura arborea

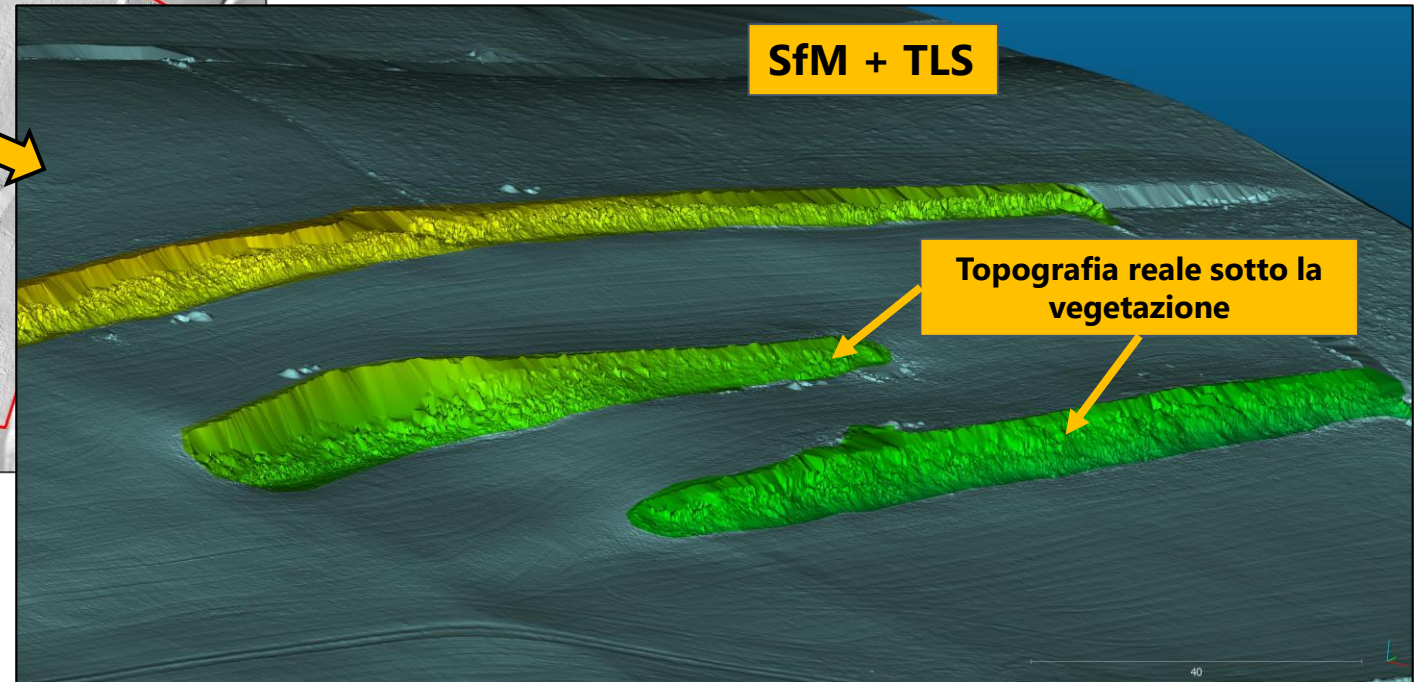
## Data Fusion in aree terrazzate vegetate



DTM: 2 m  
Laser scanner aereo



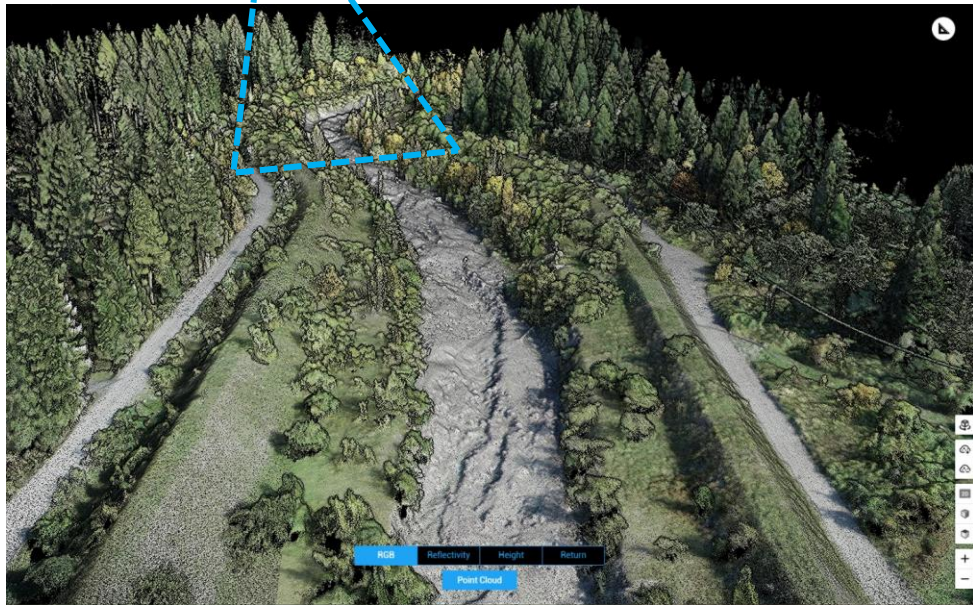
Point cloud: **298,739,953 pts**  
Point cloud density: **1660 pts/m<sup>2</sup>**



# LiDAR – UAV: dalla teoria al rilievo in campo



Rilievo  
UAV- LiDAR



Nuvola di punti RGB

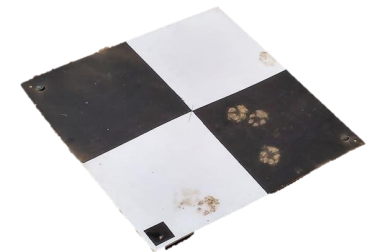
Visualizzazione acquisizione punti in tempo reale



## Ricetta

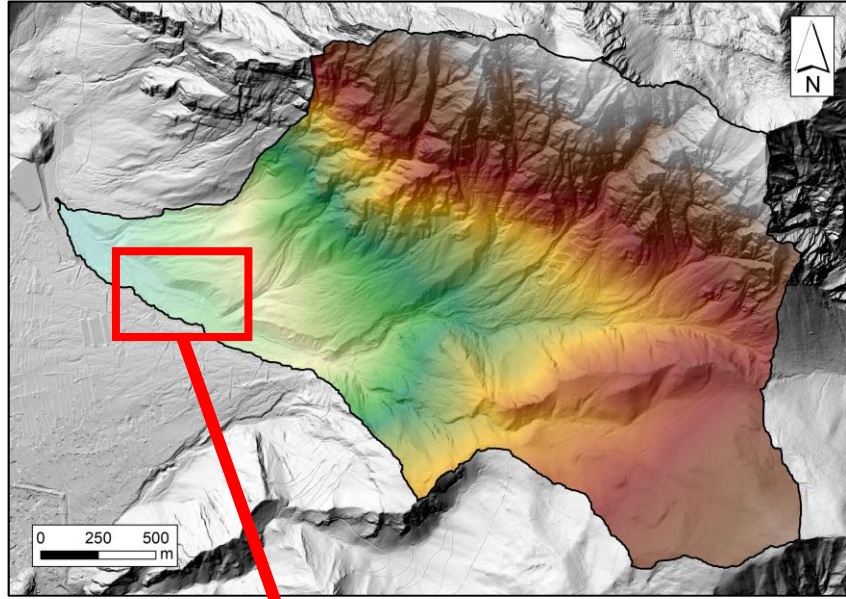
### 1) Pianificazione del rilievo

- Quota di volo
- Velocità drone
- Numero di ritorni
- Frequenza di campionamento
- Inclinazione sensore



Quantificazione errori mediante  
CPs

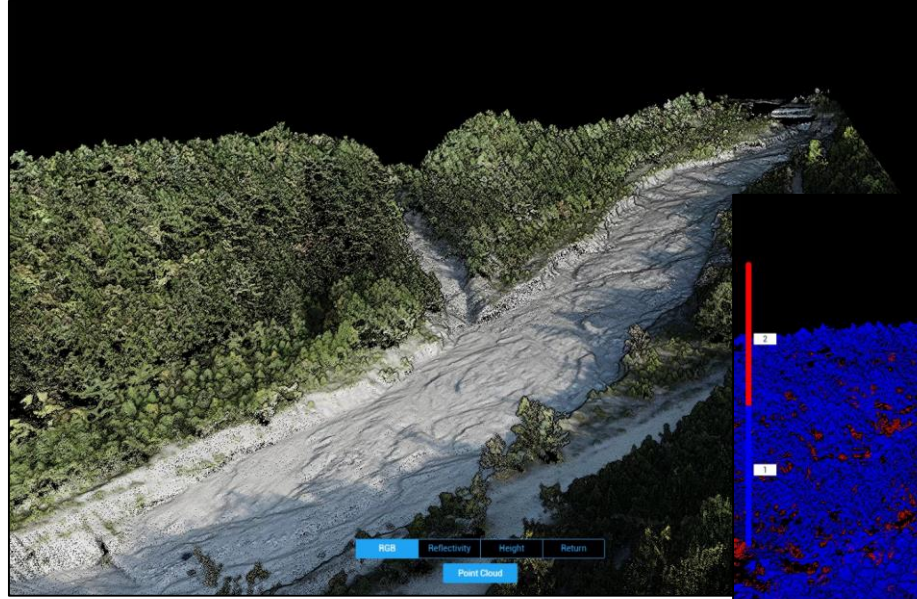
# LiDAR – UAV: dalla teoria al rilievo in campo- Il bacino del torrente Vegliato



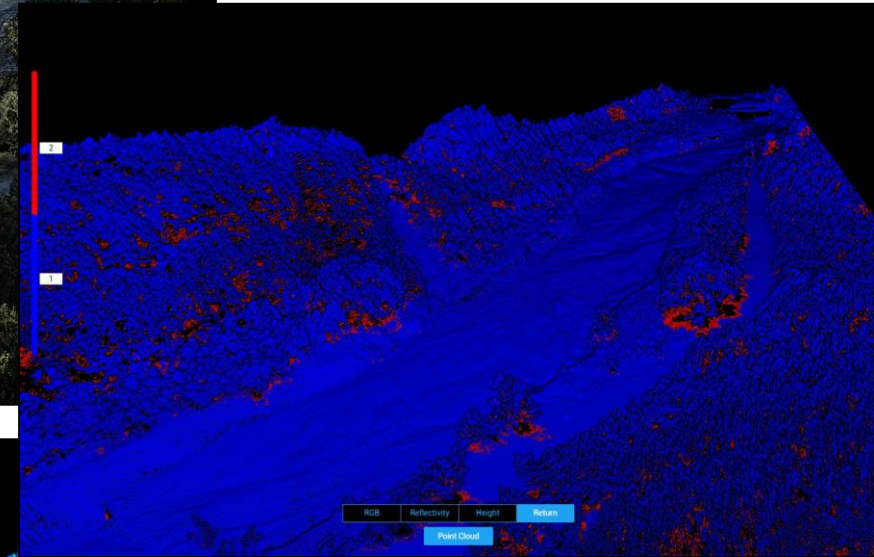
Ottobre 2022



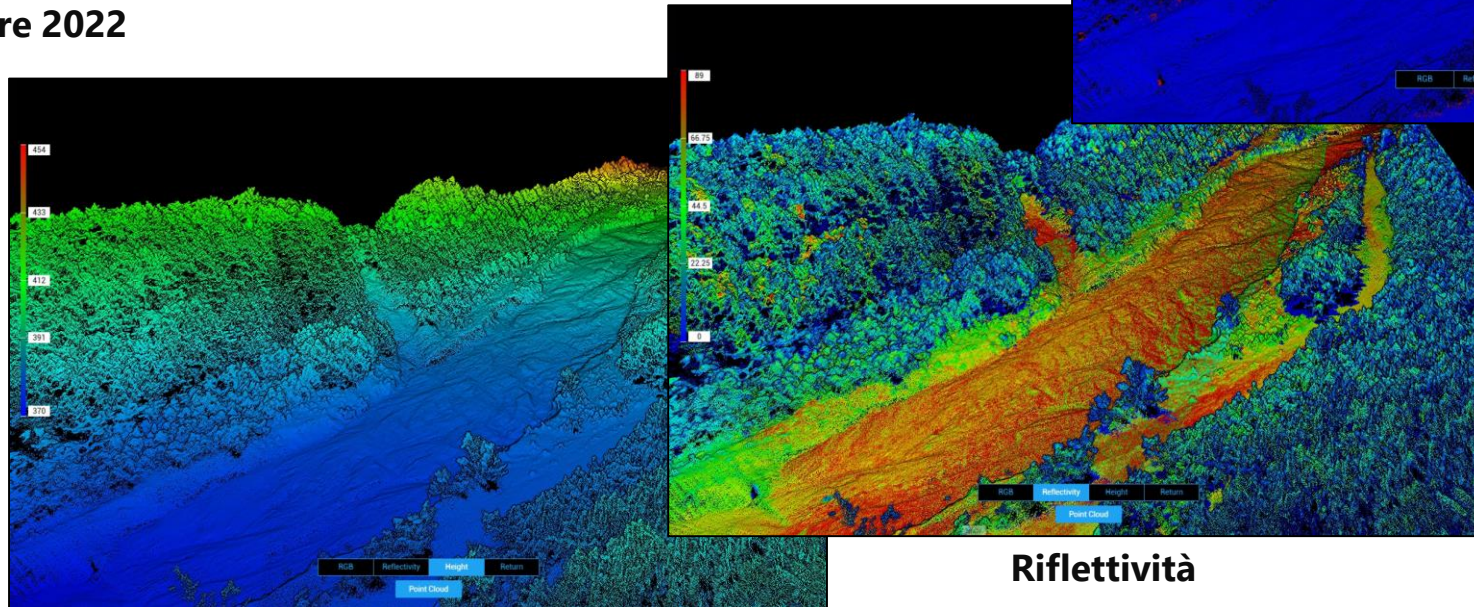
Rilievo UAV- LiDAR



Nuvola di punti RGB



Ritorni degli impulsi LiDAR



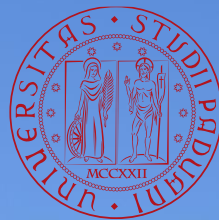
Riflettività

Quote



**TESAF**

1222 • 2022  
**800**  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



**Grazie**



FONDO EUROPEO AGRICOLO PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE ZONE RURALI