POLITECNICO DI MILANO

Le riprese fotogrammetriche mediante l'utilizzo di SAPR: alcuni esempi di applicazione in ambito civile e di monitoraggio agronomico/ambientale

Prof. Livio Pinto

DICA, Politecnico di Milano

Lecco, 28.9.2015

IL GRUPPO DI LAVORO

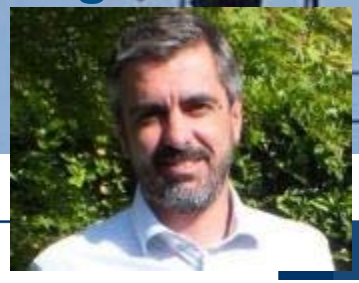
Ing. Rossana Gini

Ing. Diana Pagliari

Dr. Giovanna Sona

Prof. Livio Pinto

Ing. Paolo Dosso



STUDIO DI INGEGNERIA TERRA DAT

Ing. Daniele Passoni

UTILIZZO DEI SAPR PER SCOPI FOTOGRAMMETRICI

SAPR: APPLICAZIONI FOTOGRAMMETRICHE

Applicazioni fotogrammetriche e di telerilevamento, che richiedono sistemi GPS/INS in grado di garantire una navigazione di precisione:

- **APPLICAZIONI CIVILI**: **rilievi a scopi cartografici** (aggiornamento di carte tecniche), **ispezione** di ponti e dighe, ecc.
- **SCOPI FORESTALI**: **monitoraggio** e determinazione **della copertura vegetativa** alloctona, monitoraggio incendi.
- **BENI CULTURALI**: documentazione e generazione di modelli 3D di siti **archeologici** ed **edifici storici** a partire da immagini ad alta risoluzione
- **AGRICOLTURA DI PRECISIONE**: valutazione della **concentrazione di fertilizzanti** (p.e. azoto), valutazione del contenuto d'acqua e dello stress derivante per le piante, applicazione di erbicidi o pesticidi a singole piante.

SAPR E FOTOGRAMMETRIA

	AERIAL	CLOSE RANGE	UAV
Planning	(semi) automatic	manual	automatic/manual
Data acquisition/Flight	assisted/manual	autonomous/ assisted/manual	autonomous/ assisted/manual
Size of the area	km^2	mm^2 - m^2	m^2 - km^2
Image resolution/GSD	cm - m	mm - dm	mm - m
Distance to the object	100 m - 10 km	cm - ~300 m	m - km
Absolute accuracy of the initial orientation values	cm - dm	mm - m	cm - 10 m
Image block size/Number of scan	10 - 1000	1 - 500	1 - 1000
Special applications (examples) and features	aerial view	terrestrial view	aerial view
	large scale area (mapping, forestry, glaciology, 3D-city, modelling etc.)	small-scale areas and objects (archaeological documentation, 3D modelling of buildings and objects)	small and large-scale areas (archaeological documentation, 3D modelling of buildings and objects)
		architectural and industrial Photogrammetry	applications in inaccessible areas and dangerous objects
			real-time applications (monitoring)

Eisenbeiss, H., 2009. UAV Photogrammetry. *Ph. D. thesis*, ETH Zürich, Zurich, Switzerland

SAPR PER FOTOGRAMMETRIA VANTAGGI VS SVANTAGGI

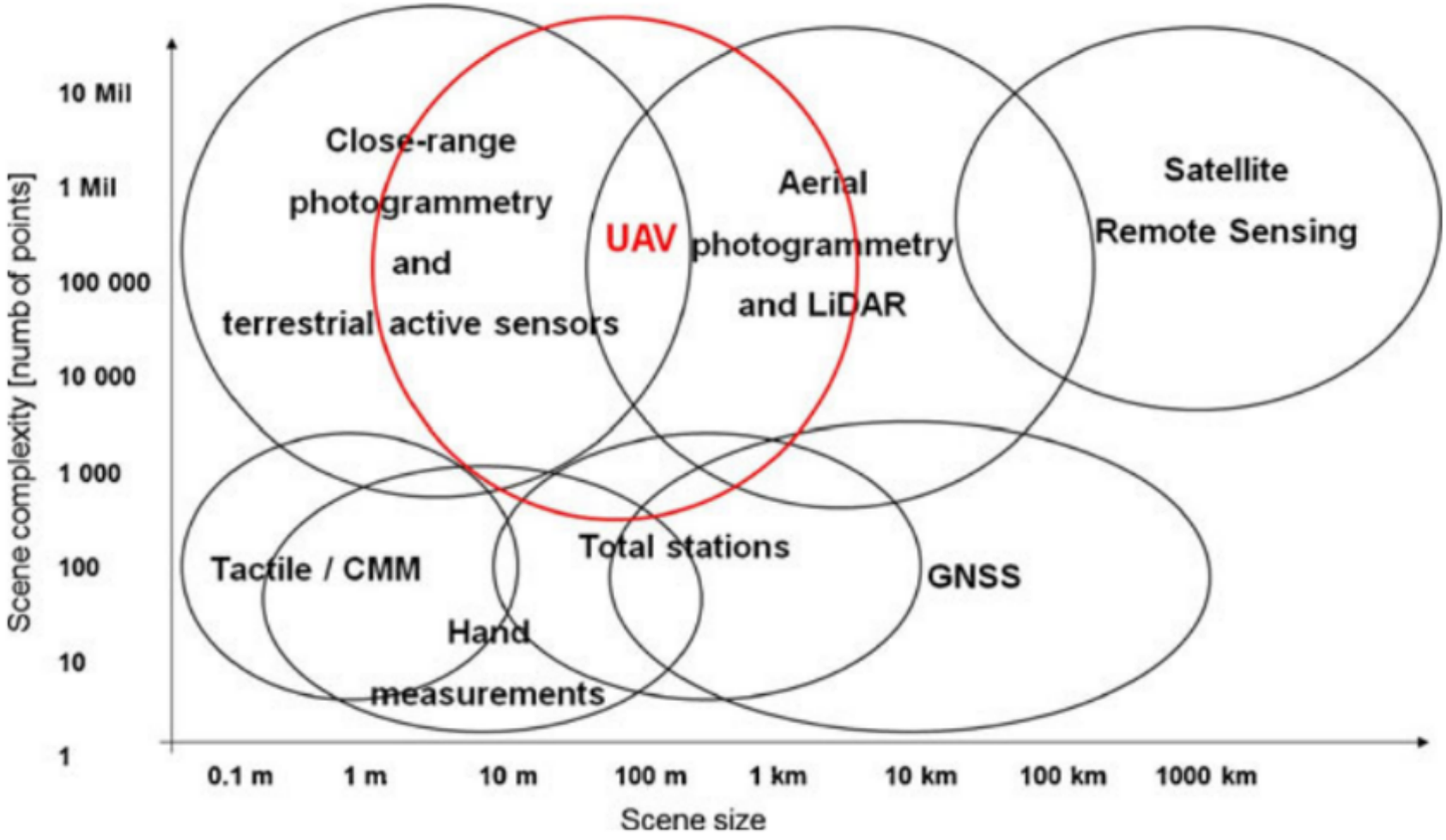
- costo di acquisto, manutenzione e d'esercizio contenuto rispetto agli aerei tradizionali
- missioni svolte autonomamente
- assenza di pilota qualificato a bordo
- alta manovrabilità

- Rilievi in situazioni pericolose: siti di disastri naturali ed antropici
- Rilievi in aree inaccessibili: per operazioni a bassa quota e vicine ad oggetti
- Rilievi low-cost: quando una missione aerea sarebbe antieconomica

- limitazione di peso e delle dimensioni del carico
- sensori di minor qualità
- motori di ridotta potenza e autonomia

- Riduzione della qualità dell'immagine
- Minore accuratezza nella realizzazione del volo
- Limitazioni nell'altitudine raggiungibile e nella durata del volo

TECNICHE DI RILIEVO 3D A CONFRONTO



(Remondino F., Nex F. - UAV for 3D mapping applications: a review)

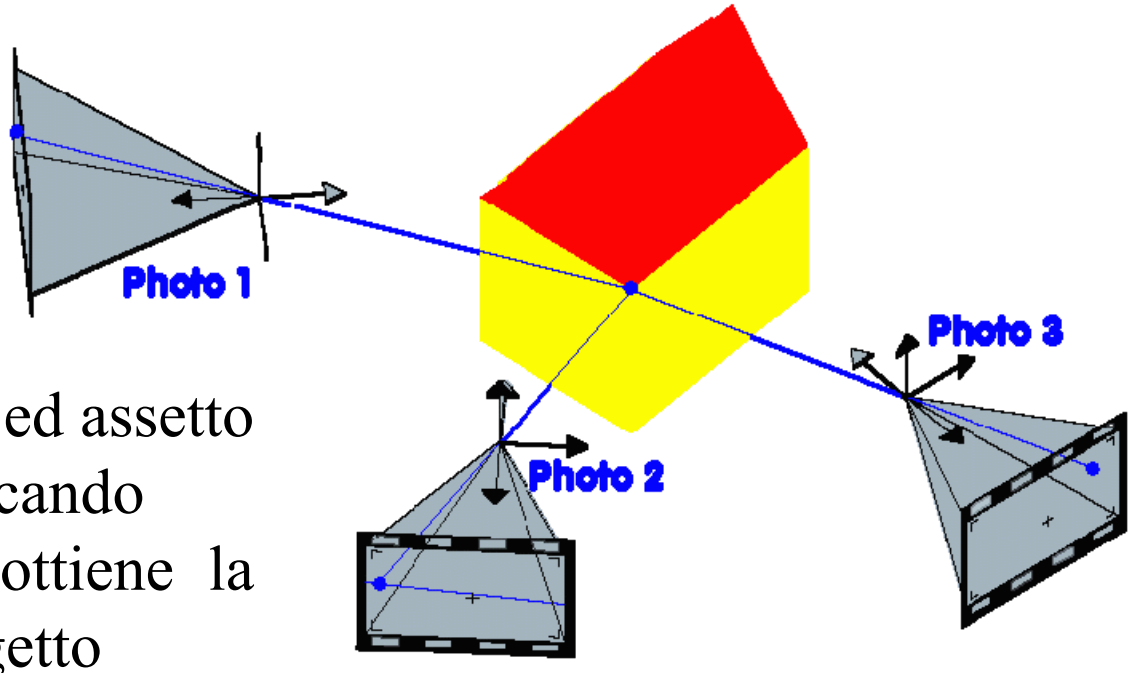
Richiami (utili) di Fotogrammetria

L’orientamento delle immagini e i prodotti fotogrammetrici

PRINCIPIO GEOMETRICO DELLA FOTOGRAMMETRIA

ricostruzione di oggetti tridimensionali (3D) a partire da due o più immagini.

Fondamento:
collinearità fra
- **punto immagine**,
- **punto di presa** e
- **punto oggetto**.



Metodo: noti posizioni ed assetto dei fotogrammi, intersecando **i raggi omologhi** si ottiene la posizione del punto oggetto

È quindi necessario che ogni punto risulti visibile in almeno **due immagini**.

LA RESTITUZIONE DEI PRODOTTI FOTOGRAMMETRICI

Se si vuole perseguire scopi geometrici le immagini acquisite da SAPR **devono avere un contenuto metrico,** si deve quindi conoscere la geometria dell'immagine: focale, posizione del punto principale e distorsione dell'obiettivo.

Inoltre le immagini devono essere orientate relativamente tra loro e nello spazio: in pratica si tratta di determinare, per ciascuna immagine, i 6 parametri di **Orientamento Esterno**

Questa operazione si basa sulla misura:

1) di punti omologhi sulle immagini (estratti automaticamente),
2) di alcuni punti di coordinate note sul terreno.

Il prodotto finale di un processo fotogrammetrico sono:

- i parametri di orientamento esterno di tutte le immagini;
- la nuvola di punti che descrive in modo 3D l'oggetto;
- le precisioni delle quantità stimate.

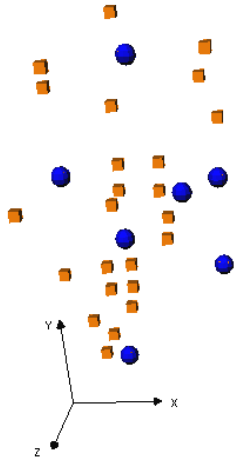
LE FASI FOTOGRAMMETRICHE PER GENERAZIONE DI MODELLI

Acquisizione delle immagini

↓

Orientamento delle immagini e Calibrazione

(→ sparse cloud)

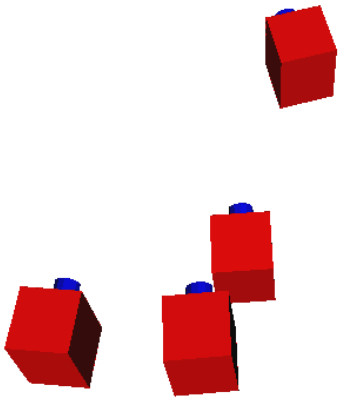


↓

Misurazione di punti (→ dense cloud)

↓

Generazione della superficie (mesh)



↓

Texture mapping x
visualizzazione 'fotorealistica'

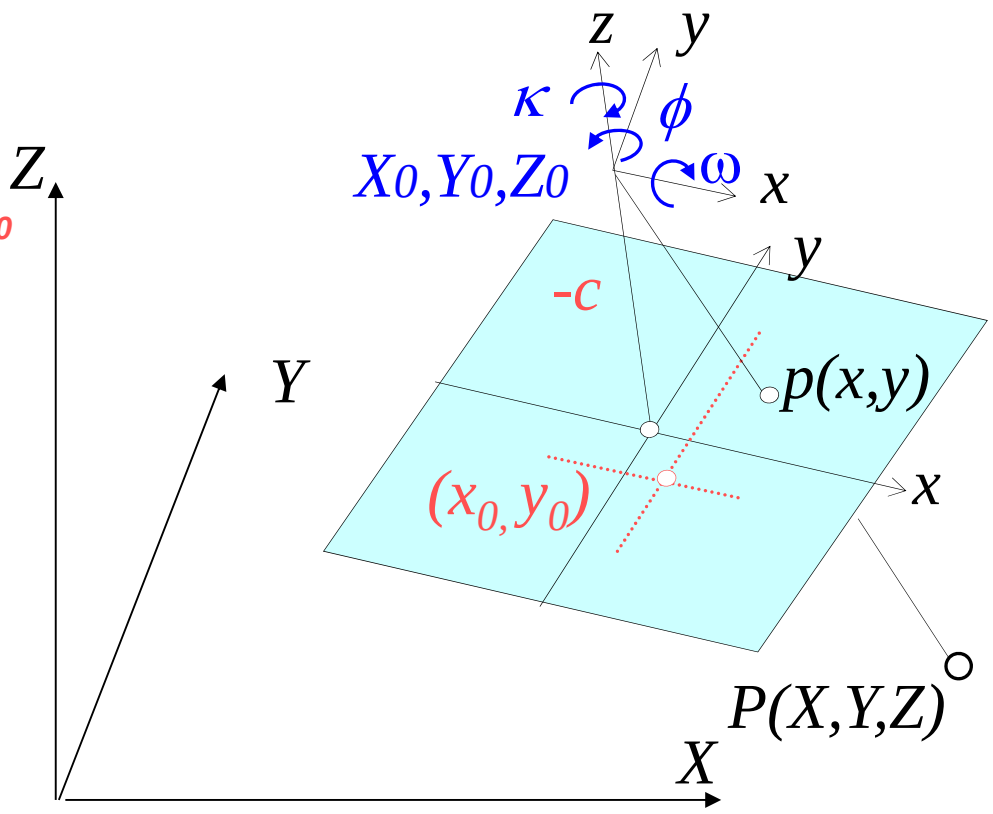
Ipotesi

- Immagini acquisite con prospettiva centrale
- Modello matematico della collinearita' (geometria prospettiva):

Orientamento interno
Posizione del punto principale: x_0, y_0
Lunghezza focale: c

Orientamento esterno
Posizione: X_0, Y_0, Z_0
Rotazione: ω, ϕ, κ

Coefficienti di distortione delle lenti
(K1, K2, K3, P1, P2, ...)



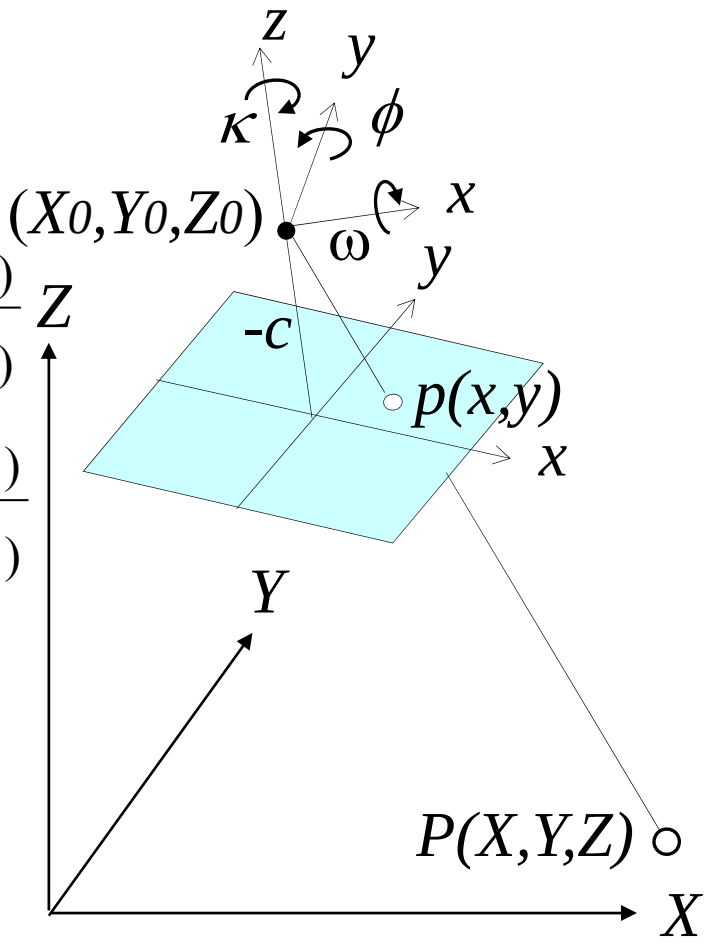
- Equazioni di collinearita':

$$x - x_0 = -c \cdot \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y - y_0 = -c \cdot \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$x - x_0 = -c \cdot \frac{Nx}{D}$$

$$y - y_0 = -c \cdot \frac{Ny}{D}$$



E.C. vengono di solito estese per considerare eventuali errori sistematici

MODELLO FOTOGRAMMETRICO DI CALIBRAZIONE

$$\begin{cases} x = D_x - \dfrac{c \cdot N_x}{D} \\ y = D_y - \dfrac{c \cdot N_y}{D} \end{cases}$$

$$D_x = x_0 + x(\mathbf{k_1} \cdot r^2 + \mathbf{k_2} \cdot r^4 + \mathbf{k_3} \cdot r^6) + \mathbf{P_1}(r^2 + 2x^2) + 2\mathbf{P_2} \cdot x \cdot y + \mathbf{b_1} \cdot x + \mathbf{b_2} \cdot y$$

$$D_y = y_0 + y(\mathbf{k_1} \cdot r^2 + \mathbf{k_2} \cdot r^4 + \mathbf{k_3} \cdot r^6) + \mathbf{P_2}(r^2 + 2y) + 2\mathbf{P_1} \cdot x \cdot y$$

Per ottenere risultati ottimali BISOGNA calibrare gli obiettivi.

La calibrazione può essere effettuata off-line (in laboratorio) con sw specifici e sistemi guidati di acquisizione dati e analisi dei risultati -> risultati aderenti alla realtà (efficienti)

ovvero

Può essere realizzata in-flight (durante l'elaborazione delle immagini) cercando quindi i parametri di calibrazione che massimizzano la qualità del risultato (statistico). -> risultati valevoli per la singola ripresa (efficaci)

LE FASI FOTOGRAMMETRICHE PER GENERAZIONE DI MODELLI

Acquisizione delle immagini

↓

Orientamento delle immagini e Calibrazione

(→ sparse cloud)

↓

Misurazione di punti (→ point cloud)

↓

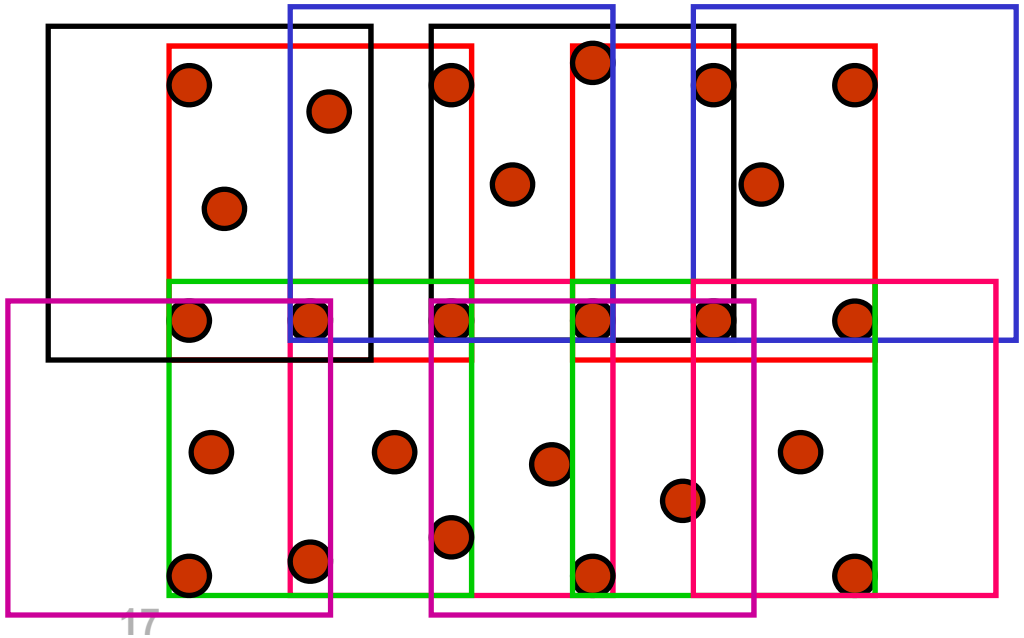
Generazione della superficie (mesh)

↓

Texture mapping x
visualizzazione ‘fotorealistica’

INQUADRAMENTO E APPOGGIO

Per l'orientamento esterno di tutti i modelli è necessario conoscere un numero sufficiente di punti d'appoggio (generalmente non meno di 5 per ogni coppia di immagini). Questi vengono solitamente **determinati per via topografia** (classica o GPS) oppure, per blocchi di immagini, derivati per via fotogrammetrica tramite la tecnica cosiddetta di **Triangolazione Aerea**.

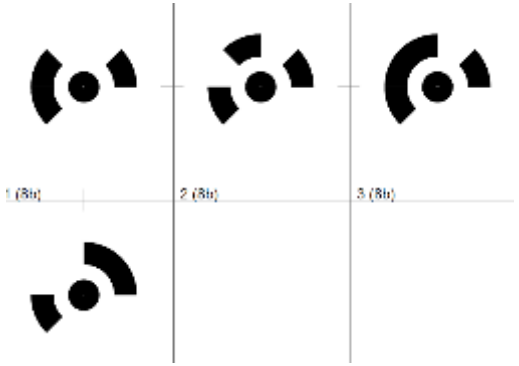


NB: Le coordinate dei punti d'appoggio definiscono il Sistema di Riferimento nel quale verrà restituito il modello

Come individuare punti x calibrare e ricavare info 3D

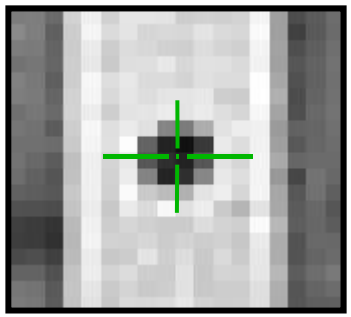
1. Misure Manuali:

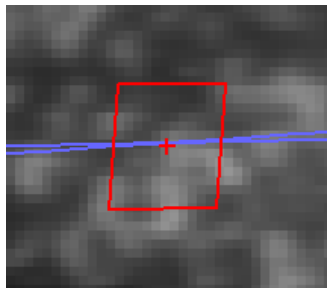
- spigoli naturali o punti segnalizzati oppure
- target codificati



2. Misure Automatiche:

- least square matching
- cross correlazione
- estrazione automatica di punti naturali con operatori





Alcune prove e alcuni consigli

- target di dimensioni minime 5 GSD
- aumentare il contrasto su superfici omogenee (attenzione al bianco)
- misura (circa) contemporanea al volo
- misura con GPS o con Stazione totale?

LE FASI FOTOGRAMMETRICHE PER GENERAZIONE DI MODELLI

Acquisizione delle immagini

↓

Orientamento delle immagini e Calibrazione

(→sparse cloud)

↓

Misurazione di punti (→ point cloud)

↓

Generazione della superficie (mesh)

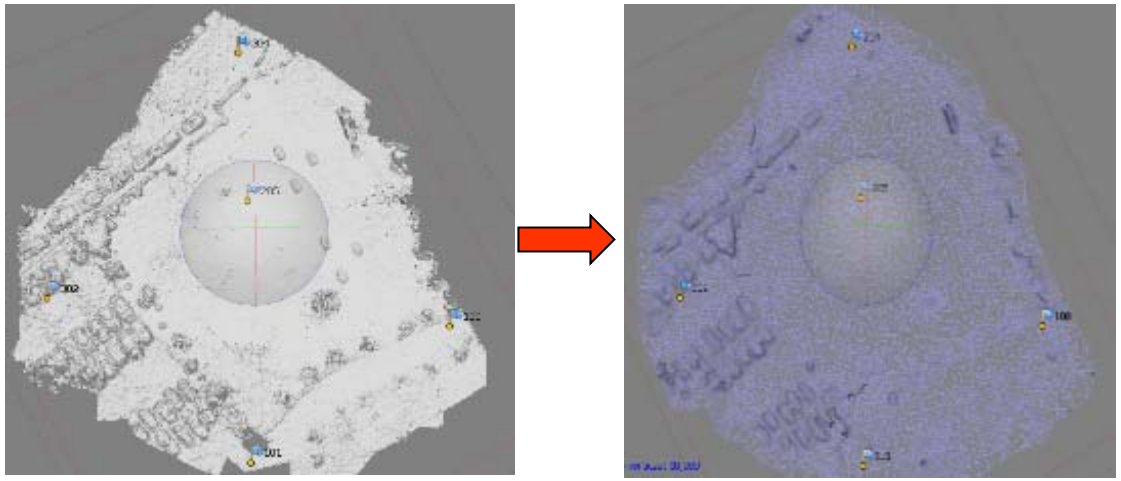
↓

Texture mapping x
visualizzazione ‘fotorealistica’

MESH E TESTURIZZAZIONE

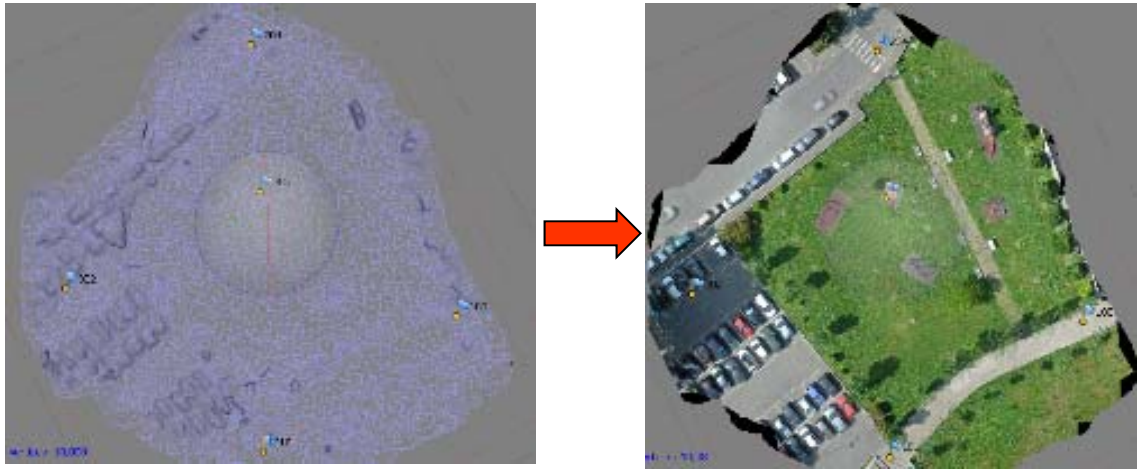
Generazione della superficie

- Triangolazione' usando i punti misurati
- Superfici 2.5 / 3D

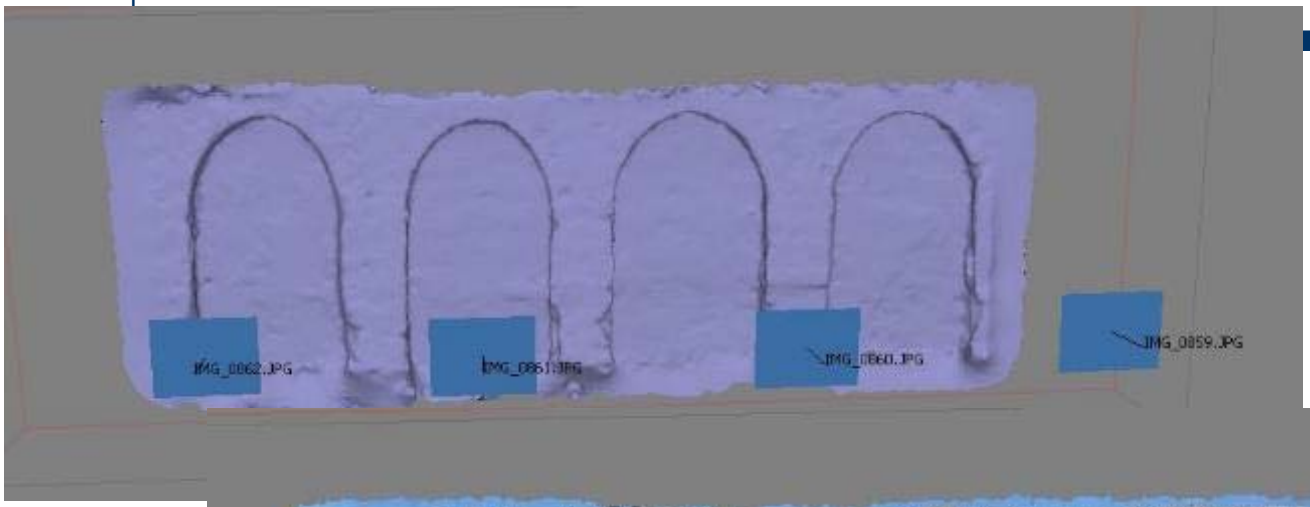


Texture mapping

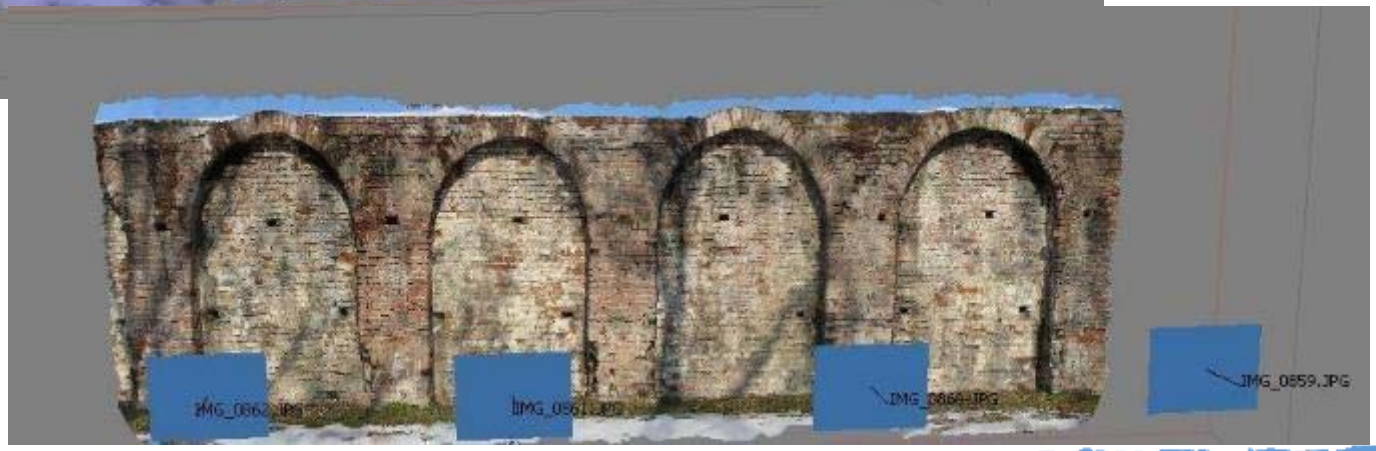
- Visualizzazione fotorealistica del modello
- Una o piu' immagini proiettate sul modello



ESEMPIO DI MODELLO VIRTUALE (FOTOREALISTICO)



Superficie triangolata



Texture

Orotofoto

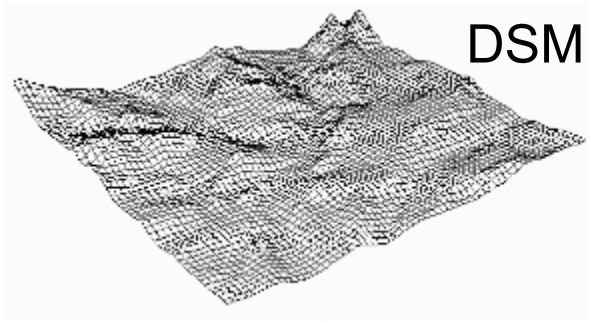
PRODUZIONE DI ORTOFOTO

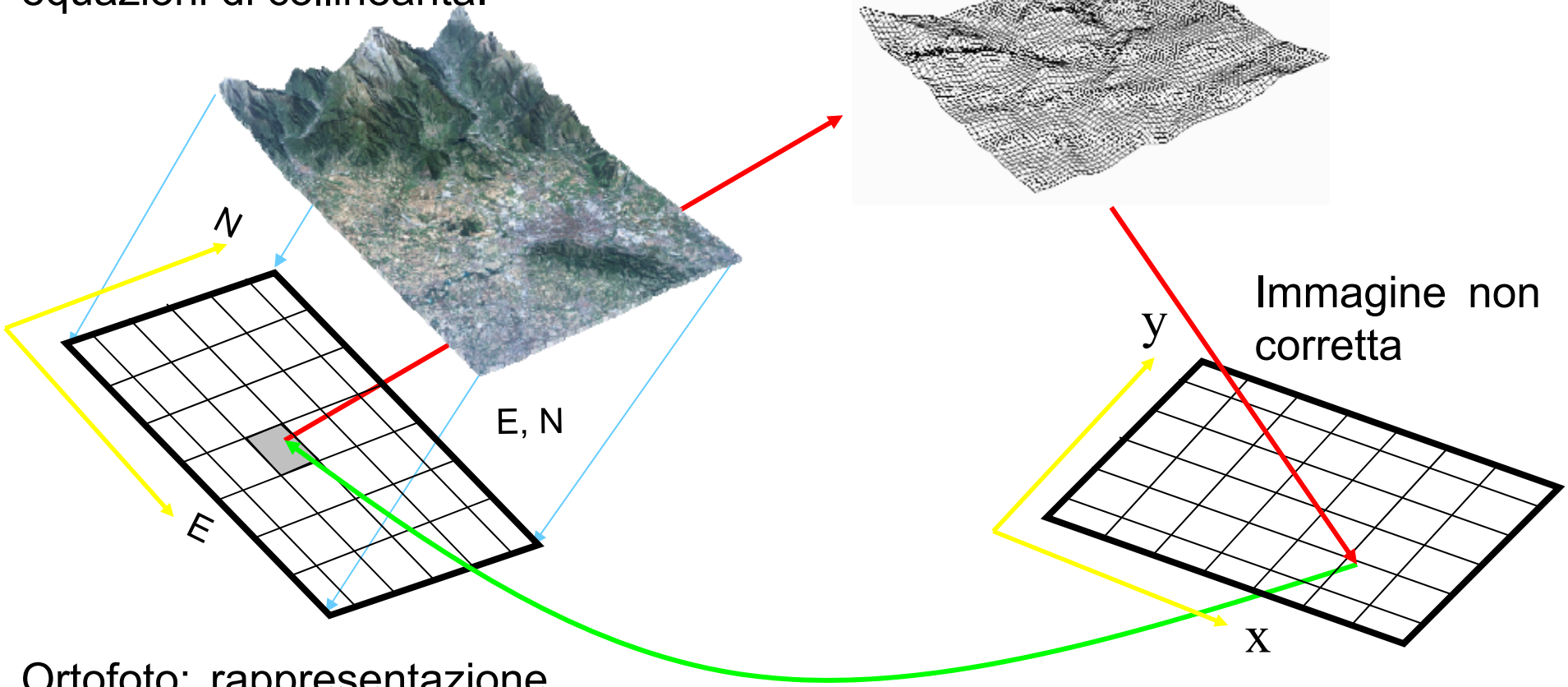
Metodo rigoroso (indiretto):

∀pixel ortofoto, si risale sul terreno (mesh) e da qui al fotogramma con le equazioni di collinearità.

DSM **eq. coll.**

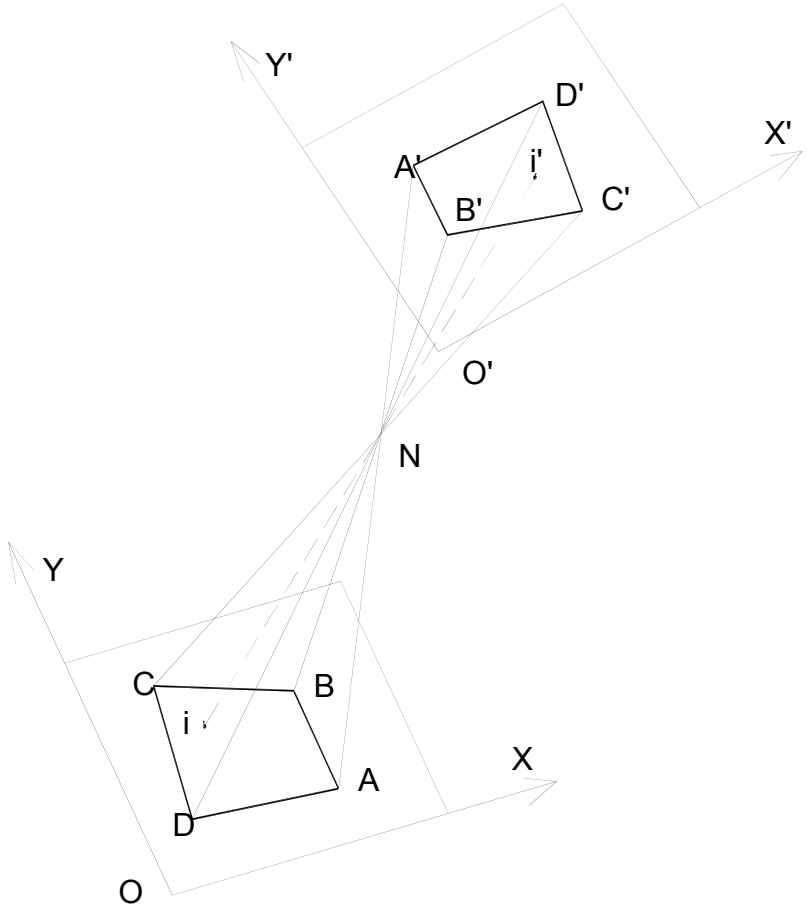
X,Y ➔ Z(X,Y) ➔ x,y ➔ r,c





Ortofoto: rappresentazione geometricamente corretta

UN CASO PARTICOLARE: IL RADDRIZZAMENTO DELLE IMMAGINI



Per **oggetti bidimensionali** o per punti appartenenti ad uno stesso piano è possibile utilizzare una sola immagine applicando una trasformazione proiettiva (trasformazione non lineare di un piano in un altro attraverso un centro di proiezione): per ogni punto scrivo una coppia di equazioni:

$$X_i = \frac{a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot y_i + a_3}{u \cdot x_i + v \cdot y_i + 1}$$

$$Y_i = \frac{b_1 \cdot x_i + b_2 \cdot y_i + b_3}{u \cdot x_i + v \cdot y_i + 1}$$

UN CASO PARTICOLARE: IL RADDRIZZAMENTO DELLE IMMAGINI

Per realizzare un'immagine corretta dalle deformazioni prospettiche le immagini vengono "raddrizzate" utilizzando specifici software

Come punti di appoggio vengono utilizzati dei punti visibili sull'immagine determinati con usuali metodi topografici (intersezione, misure dirette ecc.) ovvero con misure dirette (altezza, larghezza)

Le immagini "raddrizzate" possono essere utilizzate da sole o in collegamento al solido 3D del suo volume al fine di rappresentare metricamente l'edificio o una sua restituzione (disegno) tramite CAD.

ALCUNI CASI STUDIO

Modelli 3D della Cascina Linterno (MI) (2013)

Hexakopter Mikrokopter Polimi

Rilievo della cascina Linterno per una valutazione qualitativa e quantitativa dello stato di conservazione dei tetti (1 ha)

Volo realizzato con 4 strisciate a 40 metri di quota di lunghezza 50m e interasse 15m, GSD = 1cm

Immagine campione

Modelli 3D della Cascina Linterno (MI) (2013)

Prodotti del rilievo:

- Ortofoto di precisione
- Modello 3D delle coperture e degli edifici

Indagine strutturale e rilievo di ponti e viadotti (2014)

Hexakopter Mikrokopter Polimi

Rilievo di un ponte/viadotto in località «Santa Giulia» come test per l'applicazione di UAV alla verifica di ponti e viadotti (0.5 ha)

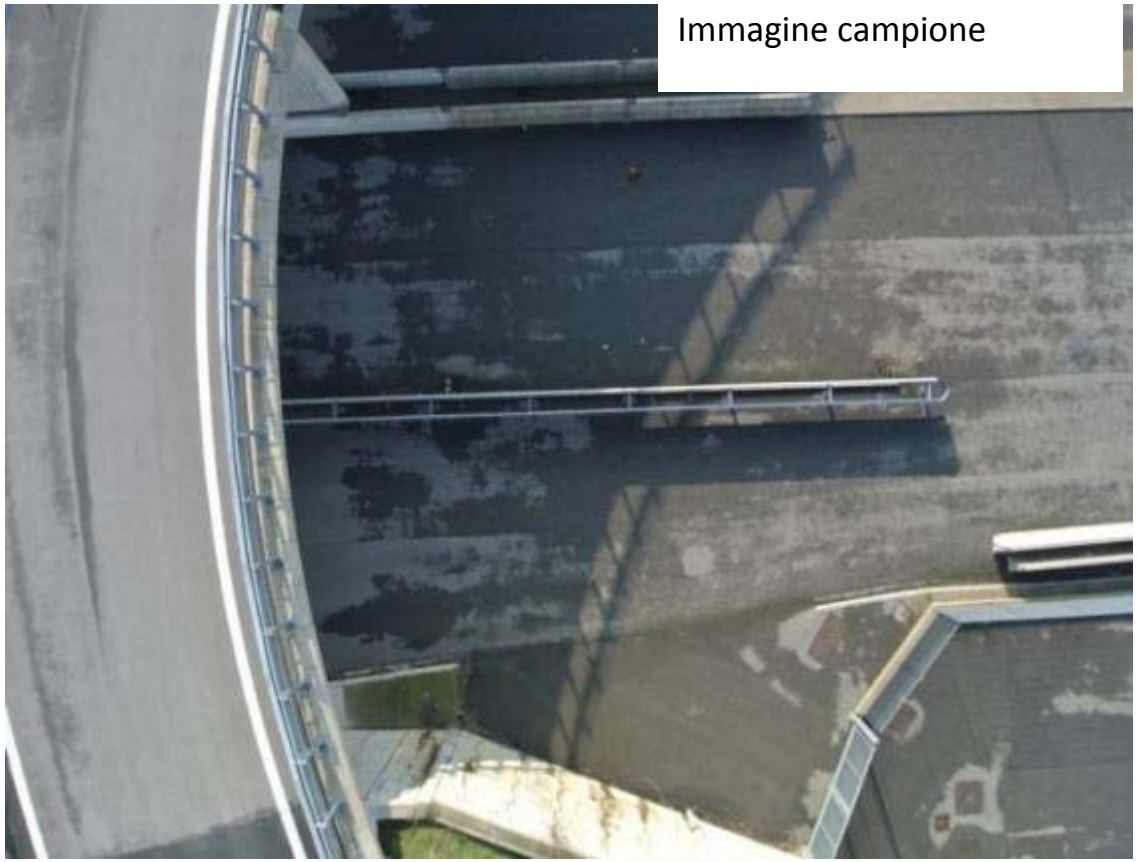
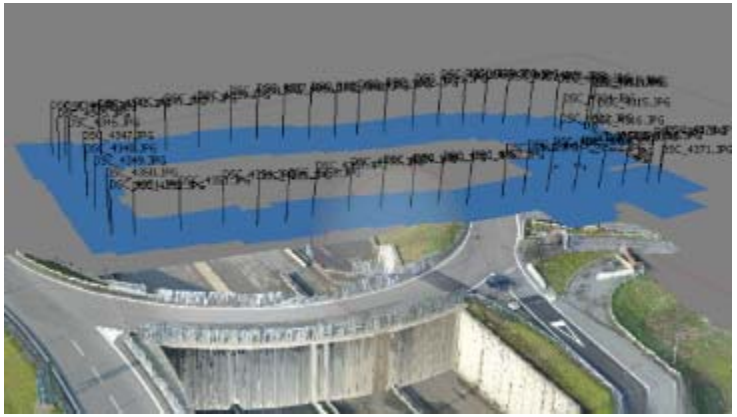


Immagine campione

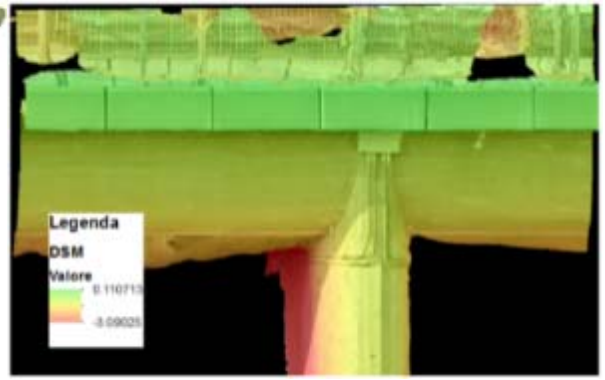
Indagine strutturale e rilievo di ponti e viadotti (2014)

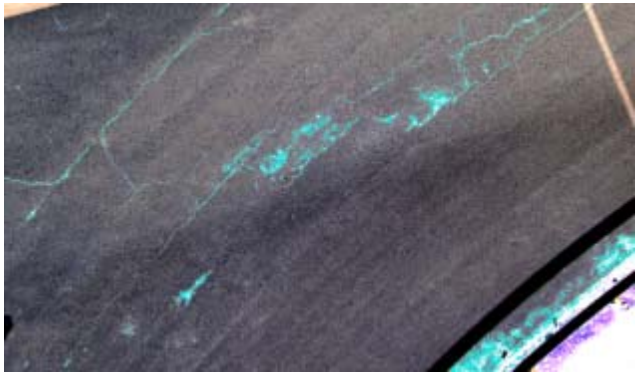


Modello 3D e
DSM superfici

Prodotti del rilievo:

- Modello 3D del ponte
- DSM di spalle e superficie asfaltata
- Ortofoto di precisione del ponte da vista nadirale e laterale
- Analisi dello stato dell'asfalto (tramite algoritmi di analisi di imm.)
- Analisi visiva dello stato conservativo della struttura





Calcolo dei volumi di cava (Gossolengo – PC) (2013)

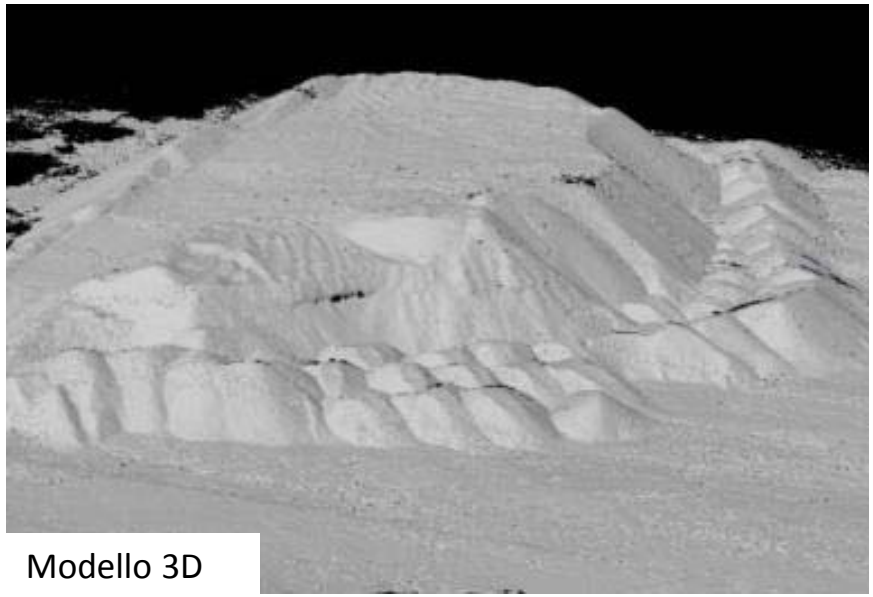
Hexakopter Mikrokopter Polimi

Rilievo per la misura di volumi di cava a Gossolengo. (PC) (1 ha)

Immagine campione

Inquadramento cartografico

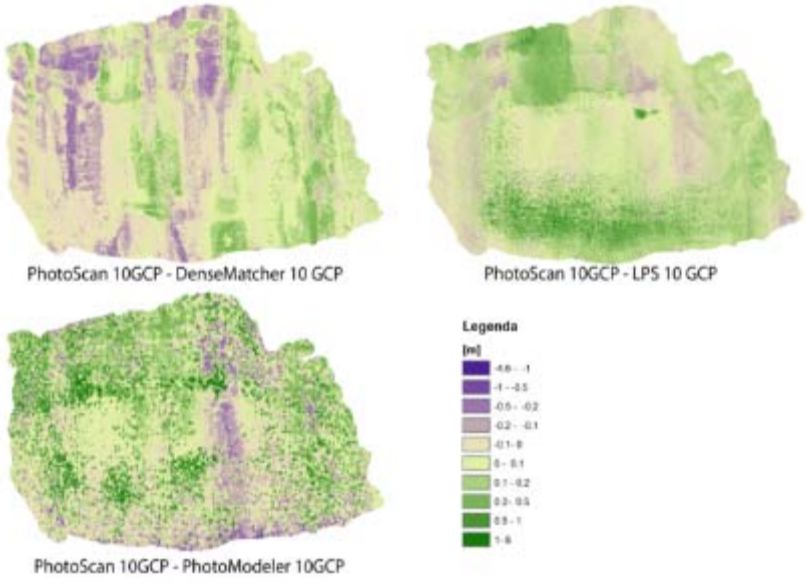
Calcolo dei volumi di cava (Gossolengo – PC) (2013)

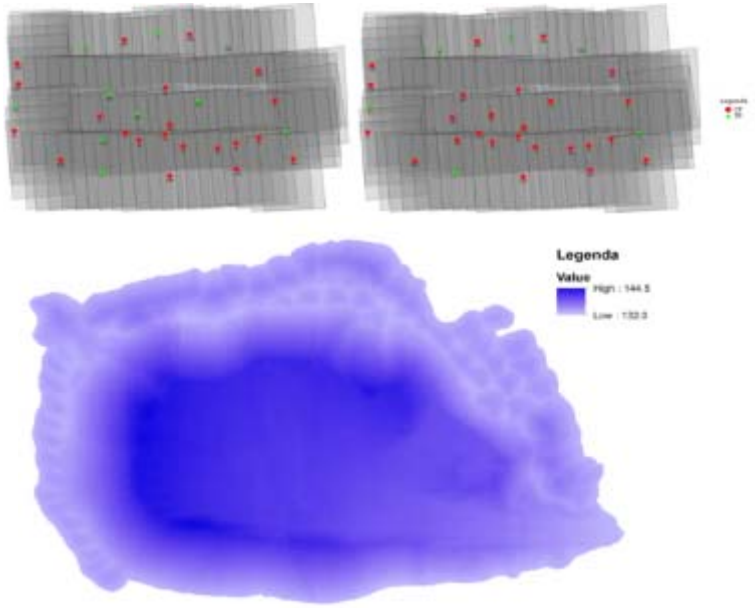


Modello 3D

Prodotti del rilievo:

- **Modello 3D**
- **DSM del cumulo per calcolo volumi**
- Ortofoto
- Comparazione di soluzioni con SW differenti
- Valutazione di differenti configurazioni di appoggio



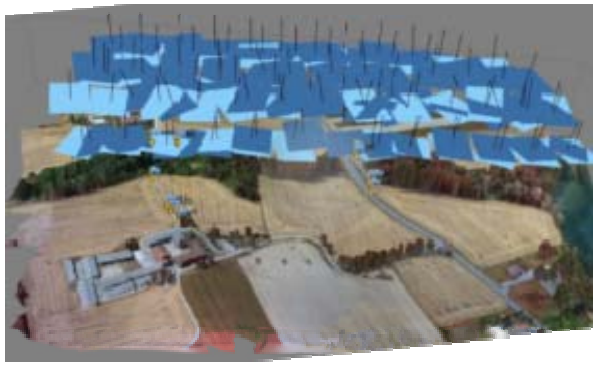


Rilievo RGB + NIR multitemporale di aree boscate del Parco Adda Nord (2013-14)

Sensefly swinglet CAM Terradat

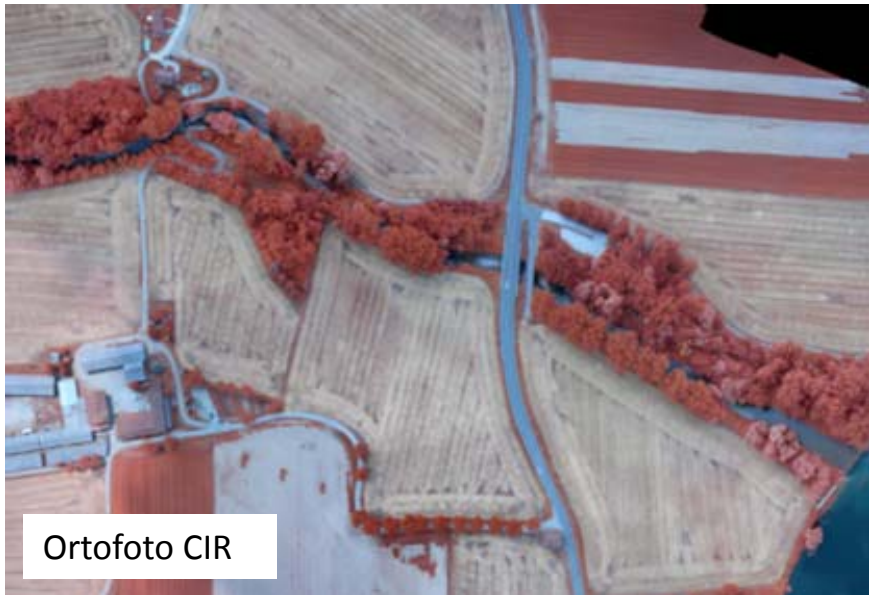
Rilievo multispettrale-multitemporale su 10 aree al fine di valutare la presenza di specie arboree alloctone all'interno del parco Adda Nord da immagini RGB+CIR (100 ha)

Immagini campione



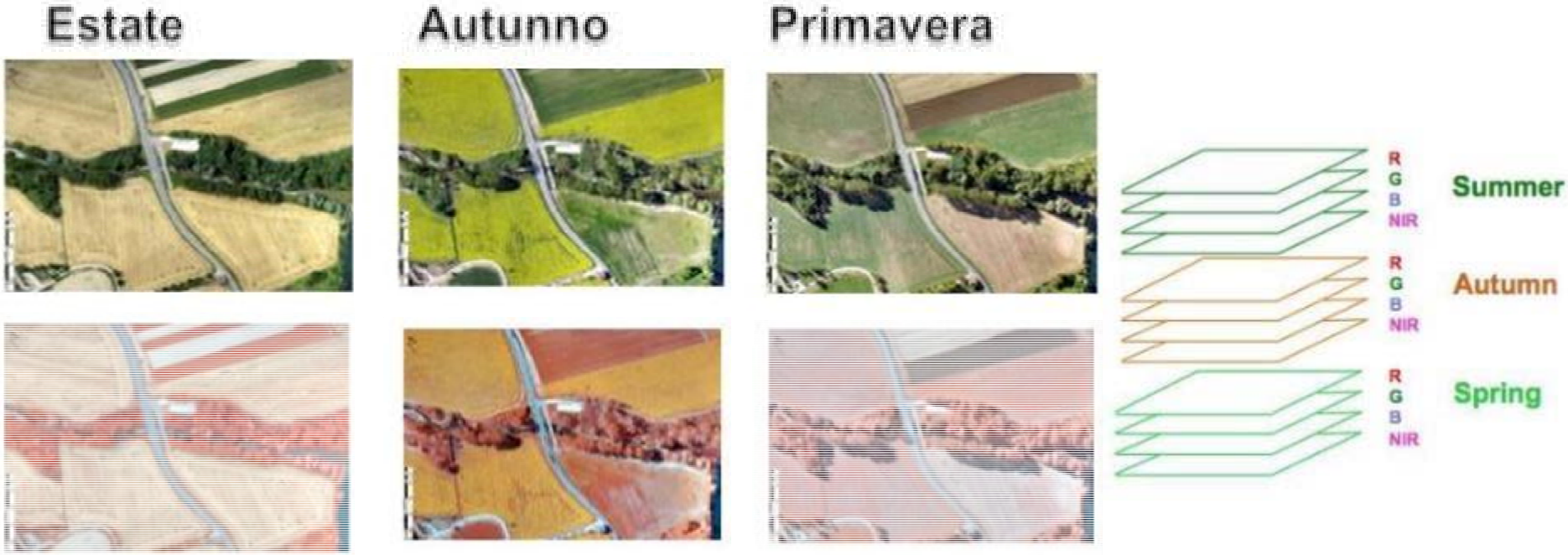
Inquadramento cartografico

Rilievo RGB + NIR multitemporale di aree boscate del Parco Adda Nord (2013-14)

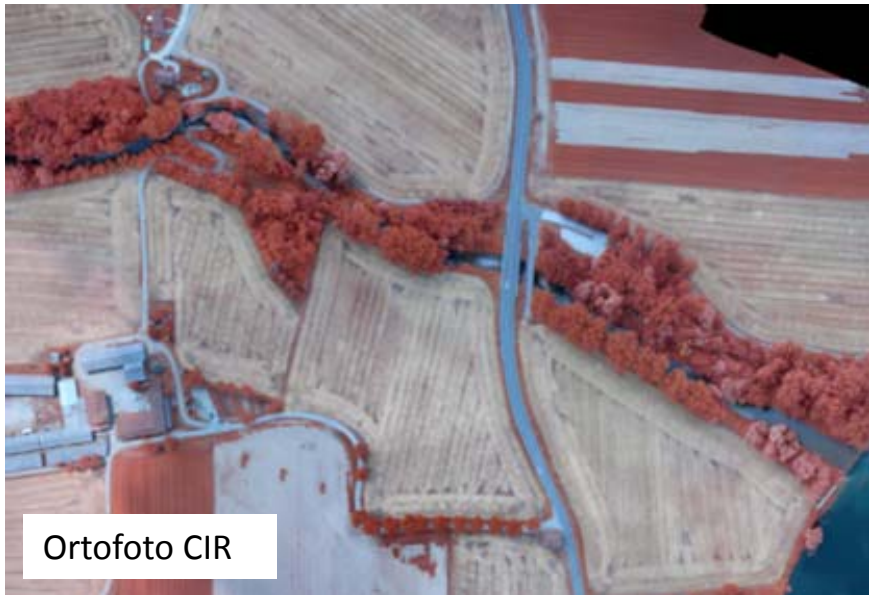


Prodotti del rilievo:

- Modello 3D
- DSM
- **Ortofoto Mulisensore/Multitemporali**
- Analisi multispettrale/multitemporale per il riconoscimento automatico di specie alloctone



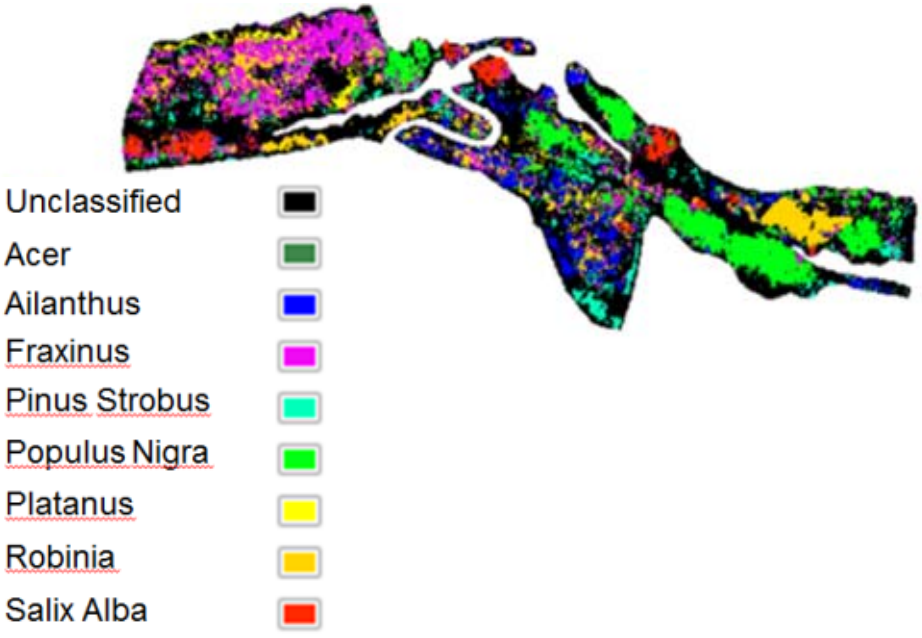
Rilievo RGB + NIR multitemporale di aree boscate del Parco Adda Nord (2013-14)



Ortofoto CIR

Prodotti del rilievo:

- Modello 3D
- DSM
- Ortofoto Mulisensore/Multitemporali
- **Analisi multispettrale/multitemporale per il riconoscimento automatico di specie alloctone**



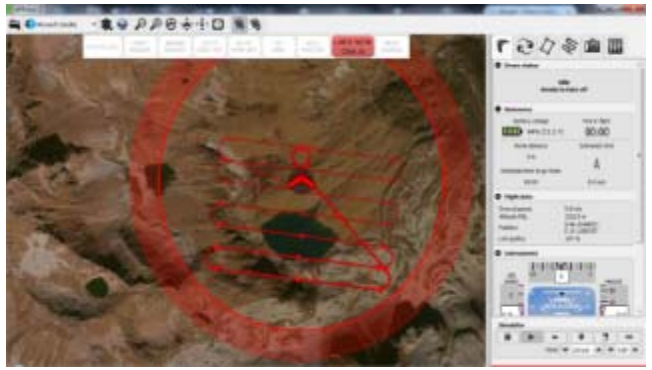
Calcolo del volume della coltre nevosa (2013-2014)

Sensefly swinglet CAM Terradat

Rilievo multitemporale su 1 area alpina (alta Valtellina) al fine di valutare la quantità di neve caduta in un anno (per bilancio idrologico). (ca 25 ha)

Rilievo estivo

Immagini campione



Inquadramento cartografico

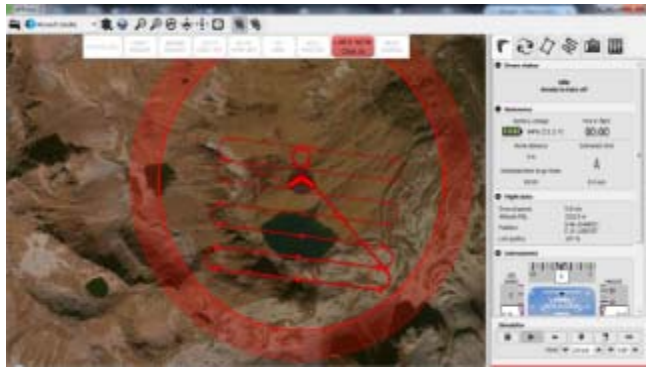
Calcolo del volume della coltre nevosa (2013-2014)

Sensefly swinglet CAM Terradat

Rilievo multitemporale su 1 area alpina (alta Valtellina) al fine di valutare la quantità di neve caduta in un anno (per bilancio idrologico). (ca 25 ha). **Problemi di matching su neve**

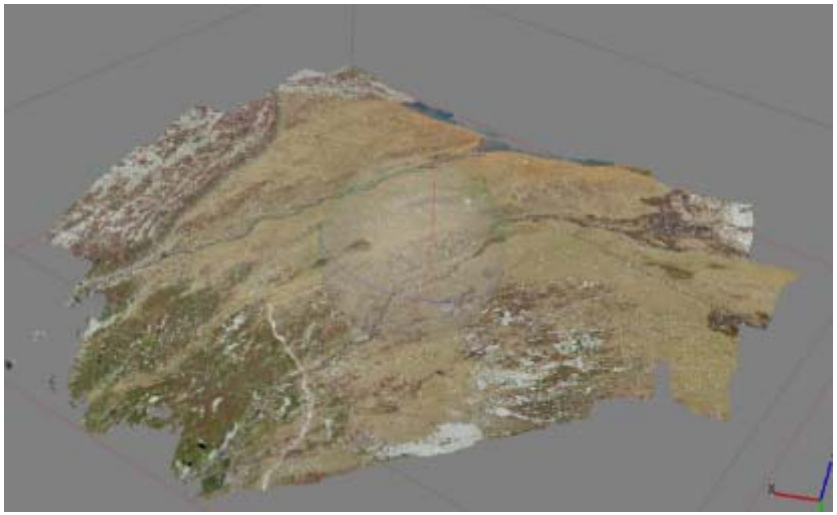
Rilievo invernale

Immagini campione



Inquadramento cartografico

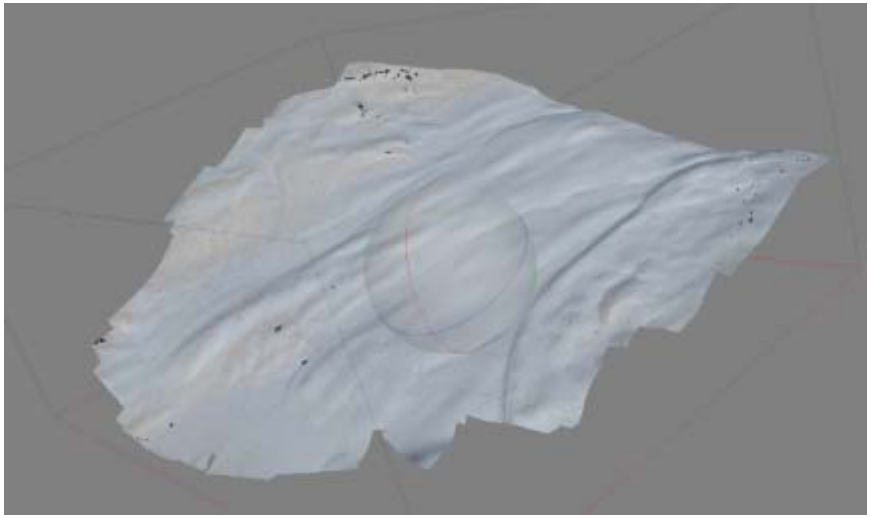
Calcolo del volume della coltre nevosa (2013-2014)



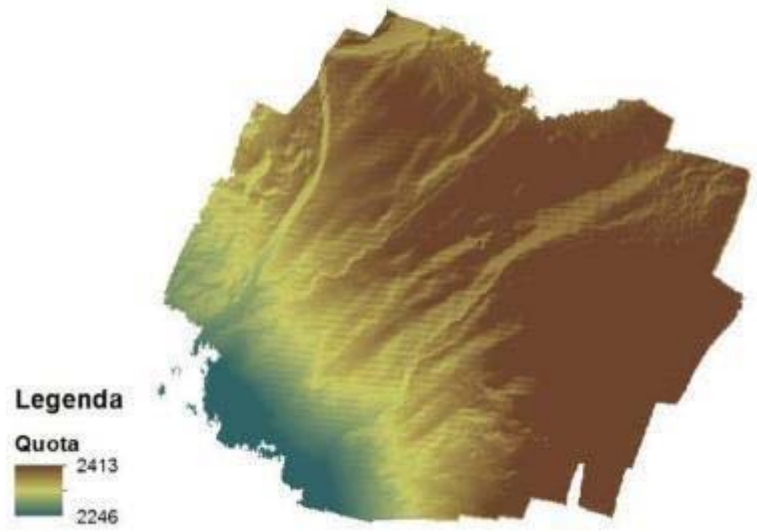
Modello 3D estivo

Prodotti del rilievo:

- Modelli 3D
- DSM estivo/invernale
- Ortofoto estiva/invernale
- Calcolo del volume della coltre nevosa come differenza dei DSM



Modello 3D invernale



Ricostruzione geologica di un versante (2014)

Hexakopter Mikrokopter Polimi

Rilievo di una scarpata franosa presso le rive dell'Adda in località Tirano (Valtellina)

Immagine campione

Inquadramento cartografico

Ricostruzione geologica di un versante (2014)

Prodotti del rilievo:

- Modello 3D
- Ortofoto del versante
- **Calcolo delle quote delle fratture del terreno**

Rilievo multispettrale della pineta di San Rossore (2013)

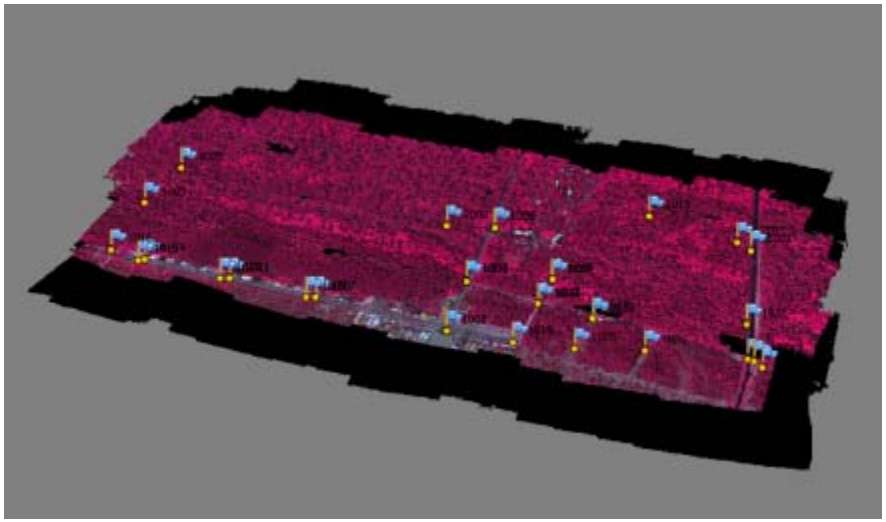
Autogiro

Rilievo della pineta di Viareggio presso la riserva naturale di San Rossore per la valutazione dello stato di salute della vegetazione

Immagine campione

Inquadramento cartografico

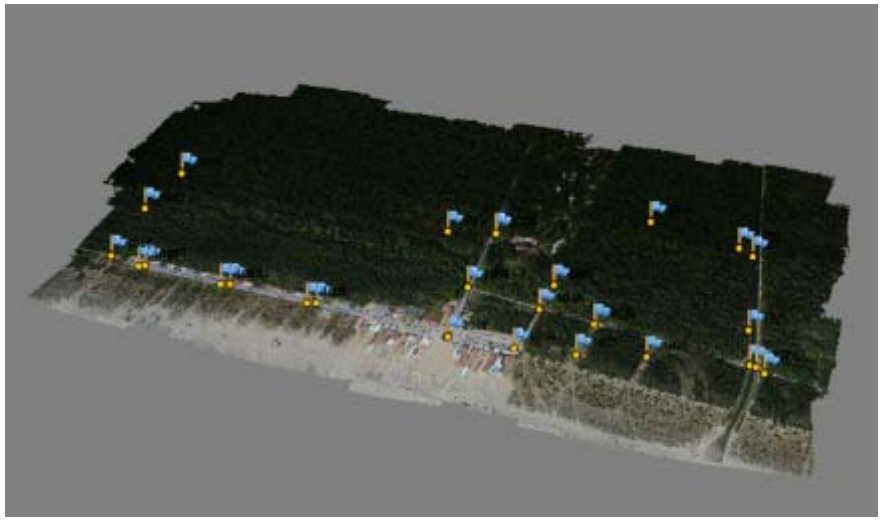
Rilievo multispettrale della pineta di San Rossore (2013)



Modello 3D CIR

Prodotti del rilievo:

- Ortofoto RGB + CIR
- Modello 3D
- ……..



Modello 3D RGB