

POLITECNICO DI MILANO

**AERIAL PHOTOGRAPHY SIMULATION
FOR PHOTOGRAMMETRIC FLIGHT DESIGN**

(Progetto di Ingegneria Informatica)

A.A. 2020/2021

Elia Fantini

CP: 10651951

Mat. 907960

Contenuti

1 Introduzione

| | | |
|-------|------------------------------------|---|
| 1.1 | Obiettivo del progetto | 3 |
| 1.1.1 | Ortofoto e Digital Elevation Model | 3 |
| 1.1.2 | Formato file GeoTIFF | 4 |
| 1.1.3 | Equazioni di collinearità | 4 |

2 Progettazione

| | | |
|-----|--------------------|---|
| 2.1 | Scelte progettuali | 6 |
| 2.2 | Interfaccia | 6 |
| 2.3 | Funzionamento | 8 |

3 Testing

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Performance | 9 |
| 3.2 | Test dei casi limite | 9 |
| 3.2.1 | Test del parametro di lunghezza focale | 10 |
| 3.2.2 | Test dei parametri di rotazione (ω , φ , κ) | 10 |
| 3.2.3 | Test dei parametri di offset del punto principale (ξ, η) | 11 |
| 3.2.4 | Test vari | 11 |

4 Conclusioni

12

1 Introduzione

1.1 Obiettivo del progetto

L'obiettivo del progetto è quello di creare un programma dotato di interfaccia grafica in grado di simulare una fotografia aerea applicando le equazioni di collinearità ai dati contenuti all'interno di un DEM e di una ortofoto, entrambi forniti dall'utente in file in formato GeoTIFF.

1.1.1 Ortofoto e Digital Elevation Model

Un'ortofoto è il frutto dell'elaborazione di più foto aeree con lo scopo di ottenere un'immagine georeferenziata e geometricamente corretta (procedimento di ortorettifica) in base ai rilievi topografici, alla distorsione della lente e all'orientamento della macchina fotografica nelle foto aeree. Essa può essere utilizzata per misurare distanze reali, poiché raffigura una accurata rappresentazione della superficie della Terra senza alcun tipo di distorsione prospettica. In altre parole, la scala di rappresentazione della fotografia risulta uniforme. La differenza tra un'immagine normale ed un'ortofoto priva di distorsioni è mostrata in Figura 1.



Figura 1 Differenza tra un'immagine (a sinistra) e la relativa ortofoto (a destra)

Un DEM (Digital Elevation Model) è un modello che associa ad ogni pixel la quota della superficie di una certa zona, compresi gli elementi antropici presenti (edifici, manufatti) e la copertura vegetale. L'area rappresentata è identificata grazie a dati di georeferenziazione. Un esempio di DEM è riportato in figura 2.

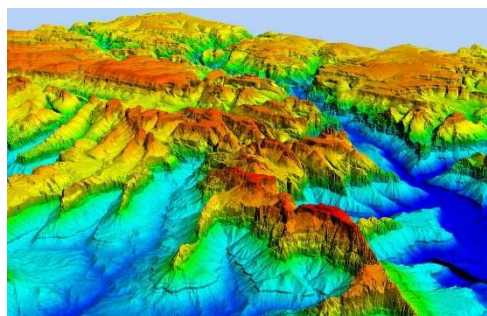


Figura 2 Esempio di DEM

1.1.2 Formato file GeoTIFF

Un file GeoTIFF non è altro che un file in formato immagine .TIFF o .TIF (Tagged Image File Format) con dei metadati aggiuntivi nell'header per la georeferenziazione dei pixel che costituiscono l'immagine.

Grazie a tali informazioni ogni pixel è mappato nel corrispondente punto 3-dimensionale del sistema di riferimento dell'ortofoto, determinandone le sue coordinate geografiche e la sua quota.

1.1.3 Equazioni di collinearità

Il passaggio da più foto aeree alla relativa ortofoto e, viceversa, la simulazione di una foto aerea data l'ortofoto corrispondente, è ottenuto applicando le equazioni di collinearità. Tali equazioni permettono di passare dalle coordinate 3-dimensionali di un punto nel mondo fisico, riferite ad un sistema di riferimento assoluto definito a priori, alle coordinate bidimensionali del sistema di riferimento interno alla fotocamera.

Sia O il punto corrispondente al centro di presa della fotocamera, A il punto dell'oggetto fotografato e A1 il punto immagine sul fotogramma. Queste equazioni, che costituiscono il principio base della fotogrammetria analitica, esprimono la circostanza che, per ogni fotogramma, O, A e A1 sono allineati sullo stesso raggio proiettante r.

Siano:

- XYZ il sistema assoluto, a cui andranno riferiti i punti dell'oggetto da rilevare;
- xyz il sistema interno del fotogramma.
- XA, YA, ZA le coordinate del generico punto A dell'oggetto nel sistema assoluto
- XYZ;
- XO1, YO1, ZO1 le coordinate del centro di presa O1 nel sistema assoluto XYZ;
- x1, y1, z1 le coordinate di A1, immagine di A sul fotogramma, nel sistema interno xyz;
- XA1, YA1, ZA1 le coordinate dell'immagine A1 nel sistema assoluto XYZ.

Dato l'assetto angolare (ω , φ , κ) degli assi del sistema interno xyz rispetto agli assi del sistema assoluto XYZ nella presa da O, si ottengono i rispettivi coseni direttori applicando le seguenti equazioni:

$$a_{11} = \cos \varphi_1 \cdot \cos \kappa_1$$

$$a_{12} = \cos \omega_1 \cdot \sin \kappa_1 + \sin \omega_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \kappa_1$$

$$a_{13} = \sin \omega_1 \cdot \sin \kappa_1 - \cos \omega_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \kappa_1$$

$$a_{21} = -\cos \omega_1 \cdot \sin \kappa_1$$

$$a_{22} = \cos \omega_1 \cdot \cos \kappa_1 - \sin \omega_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \kappa_1$$

$$a_{23} = \sin \omega_1 \cdot \cos \kappa_1 + \cos \omega_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \kappa_1$$

$$a_{31} = \sin \varphi_1$$

$$a_{32} = -\sin \omega_1 \cdot \cos \varphi_1$$

$$a_{33} = \cos \omega_1 \cdot \cos \varphi_1$$

A questo punto, fissato un valore per Z_A e posto $-z_1=p$ (lunghezza focale), si ottengono X_A e Y_A applicando le equazioni di collinearità definite di seguito:

$$X_A = X_{O1} + (Z_A - Z_{O1}) \cdot \frac{a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot y_1 + a_{13} \cdot p}{a_{31} \cdot x_1 + a_{32} \cdot y_1 + a_{33} \cdot p}$$

$$Y_A = Y_{O1} + (Z_A - Z_{O1}) \cdot \frac{a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot y_1 + a_{23} \cdot p}{a_{31} \cdot x_1 + a_{32} \cdot y_1 + a_{33} \cdot p}$$

Allo stesso modo, note le coordinate X_A , Y_A , Z_A del punto oggetto nel sistema di riferimento assoluto, si possono ottenere le coordinate x_1 , y_1 di tale punto sul sensore dell'immagine.

In figura 3 è mostrata una rappresentazione grafica del caso appena descritto.

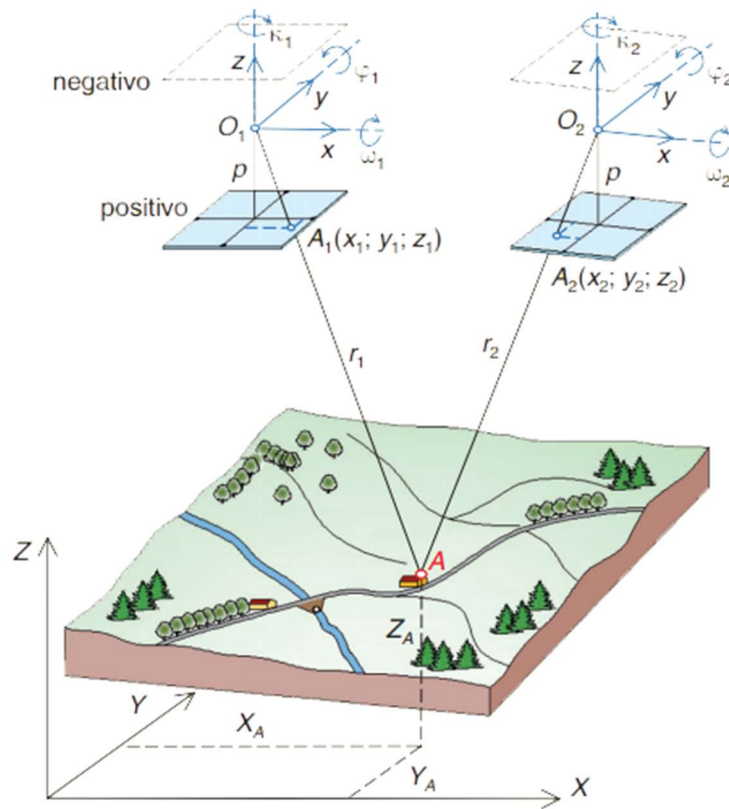


Figura 3

2 Progettazione

2.1 Scelte Progettuali

Per realizzare il software richiesto è stato scelto il linguaggio di programmazione Python. Il motivo di tale scelta è dovuto al fatto che per esso esistono svariate librerie estremamente ottimizzate per lavorare su array n-dimensionali di dati. Tali librerie sono:

- RasterIO
- Numpy
- OpenCV
- Scipy

In particolare, RasterIO è la libreria per leggere e manipolare i raster contenuti nei file GeoTIFF. È stata scelta al posto dello standard Python GDAL perché, a differenza di esso, non soffre dei problemi di puntatori che possono bloccare il programma.

Per l'interfaccia grafica è stata la libreria PyQt5. Il codice è stato eseguito da un interprete Python 3.7 in un environment di Anaconda3, poiché altrimenti l'installazione di alcune librerie come RasterIO risultava particolarmente complicata.

2.2 Interfaccia

L'interfaccia grafica permette all'utente di impostare i seguenti parametri:

- File path dell'ortofoto in formato .tif. l'utente può scegliere se scrivere manualmente il percorso al file o selezionarlo cliccando l'apposito bottone "browse". Se il percorso non esiste o il file non è valido il path si resetta automaticamente;
- File path del DEM in formato .tif. Funzionalità analoghe al percorso file soprastante;
- File path del file di testo .txt contenente i nomi delle immagini da simulare, le coordinate del centro di presa di ciascuno di esse (X, Y, Z) e i relativi tre angoli di assetto (ω , ϕ , κ) e, opzionalmente, la matrice di rotazione (coseni direttori). Tali parametri dovranno essere forniti distanziati da un solo carattere di tabular key (HT) e nel seguente ordine: PhotoID, X, Y, Z, Omega, Phi, Kappa, (r11, r12, r13, r21, r22, r23, r31, r32, r33). Ogni set di parametri dovrà essere separato dal precedente da un carattere di Invio (" \backslash n"). Tale formato rispecchia quello generato automaticamente da diversi software di fotogrammetria;
- Path della cartella in cui salvare le immagini elaborate;
- Dimensione del sensore fotografico (mm x mm), selezionabile tra diversi preset;
- Risoluzione della fotografia simulata, selezionabile tra diversi preset;
- Dimensione del sensore e risoluzione dell'immagine personalizzati, selezionabili manualmente cliccando il bottone contraddistinto dal simbolo "...";
- Lunghezza focale della camera in mm (distanza del centro di presa dal sensore);
- Coordinate del punto principale (ξ, η) in mm (coordinate della proiezione del centro di presa sul sensore);
- Algoritmo di resampling applicato nel processo di rototraslazione del file DEM per far corrispondere, nello spazio 3-dimensionale georeferenziato, le informazioni di quota del pixel (i,j) nel DEM alle informazioni di colore RGB del pixel (i,j) nell'ortofoto;
- Algoritmo di resampling applicato all'immagine simulata per riempire i pixel senza informazione.

In figura 4 e figura 5 è mostrata l'interfaccia sopra descritta.

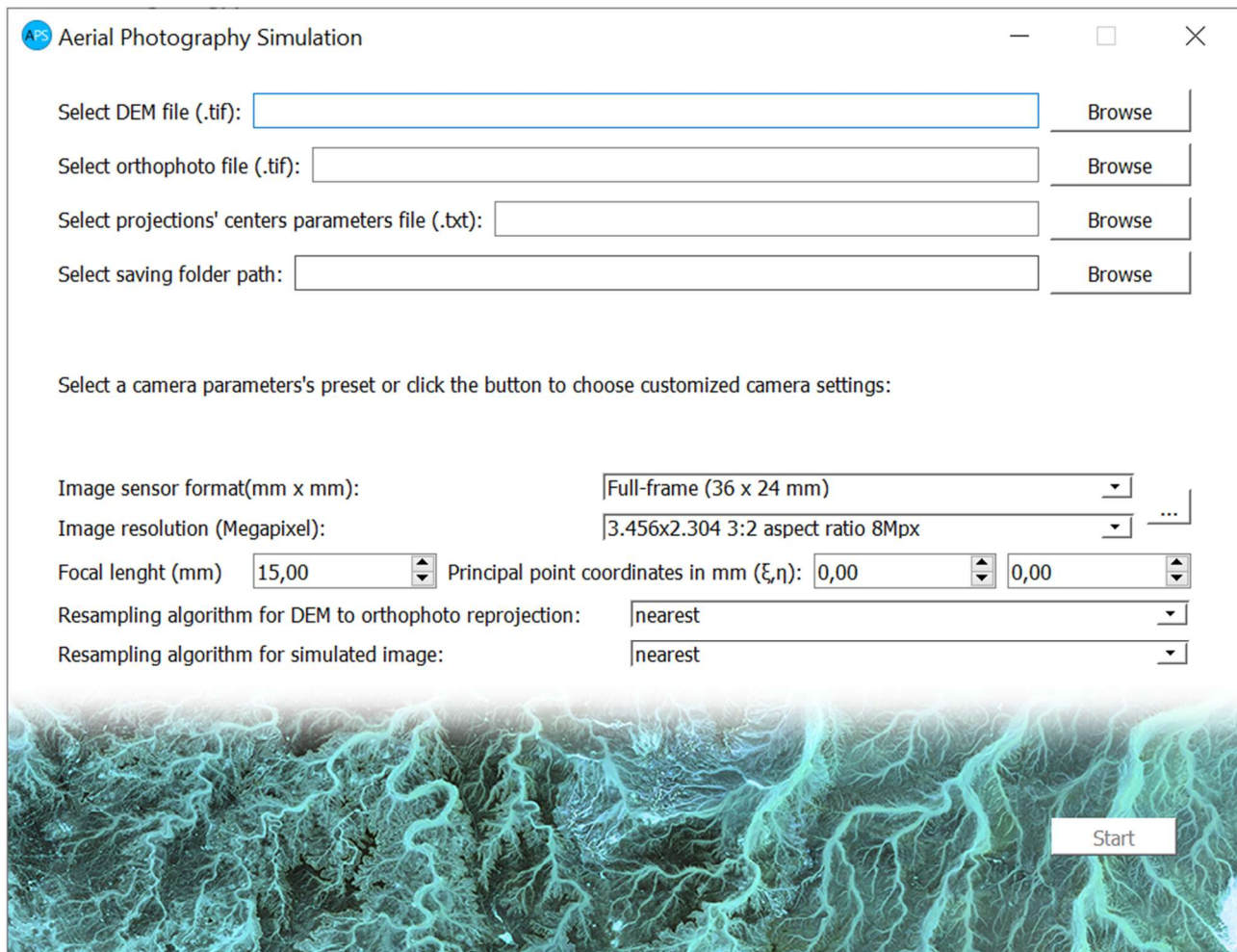


Figura 4 Interfaccia principale

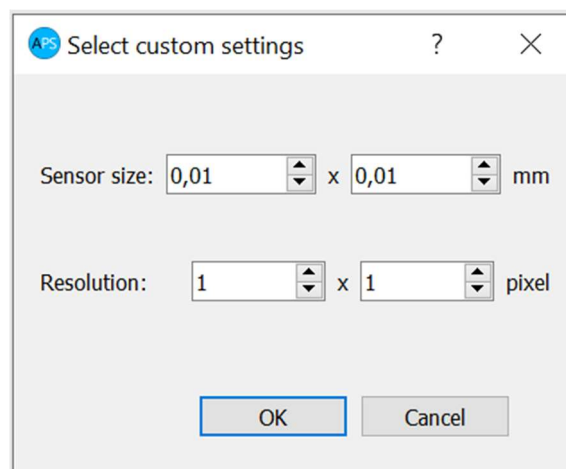


Figura 5 Finestra di dialogo

2.3 Funzionamento

In figura 6 è rappresentato il funzionamento dell'algoritmo di simulazione dell'immagine, sotto forma di un diagramma a stati finiti.

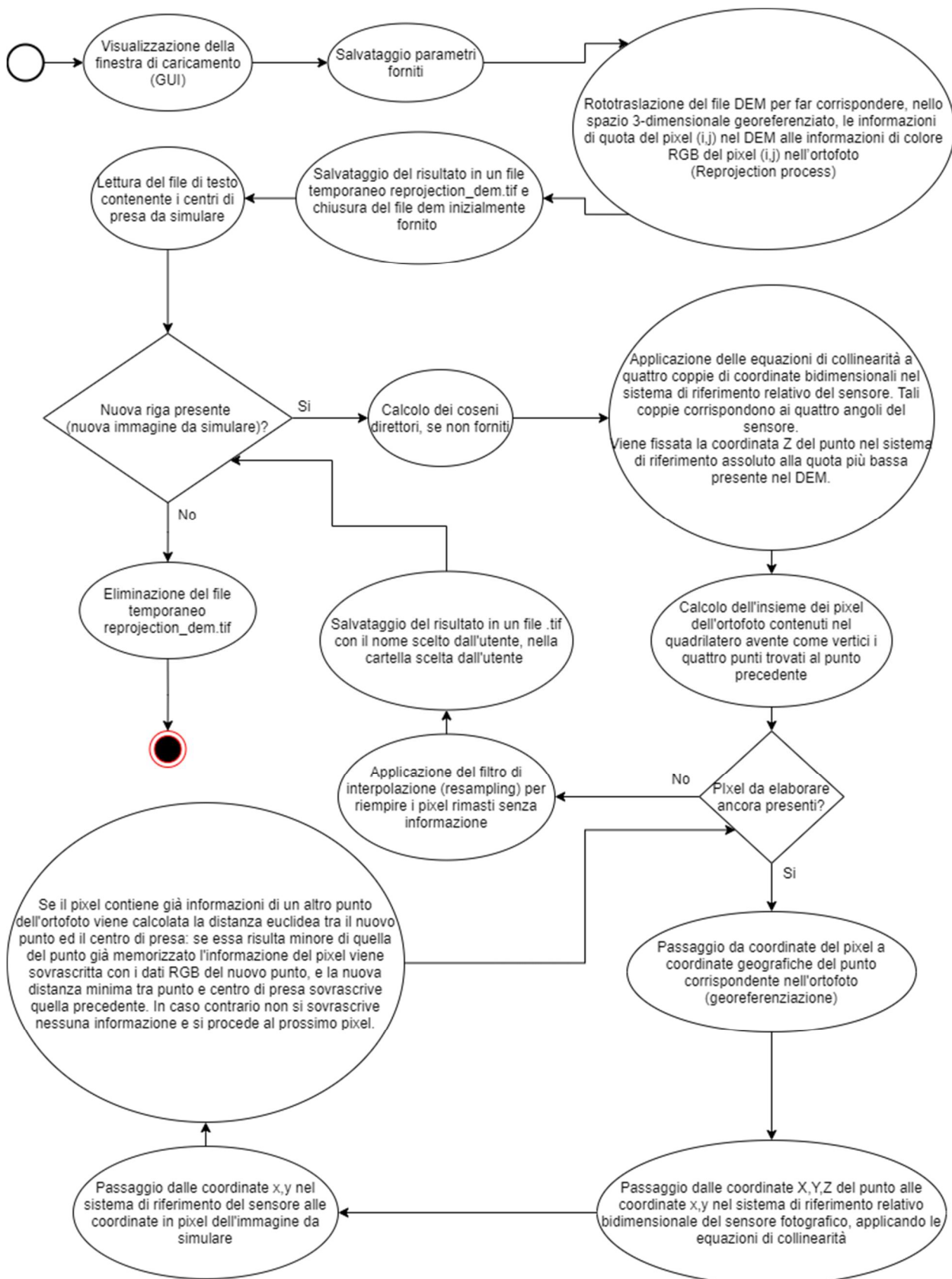


Figura 6 Diagramma a stati finiti

3 Testing

3.1 Performance

Il tempo d'esecuzione dell'algoritmo è strettamente legato alla dimensione dell'area di pixel da elaborare nell'ortofoto per ogni immagine simulata. In particolare, lunghezze focali ridotte e ampie dimensioni del sensore portano ad un forte aumento dell'area da processare. Ovviamente anche la risoluzione dell'ortofoto è proporzionale al tempo d'esecuzione. Per avere un'idea del tempo medio si è calcolato il tempo di elaborazione di un milione di pixel, pari a circa 30 secondi. Con tale tempistica, la simulazione di una fotografia con settaggio della camera pari a quello del drone che ha creato il dataset di test ha impiegato in media 5 minuti. Tali misurazioni sono state effettuate su un pc dotato di un processore Intel i7-10870H, con frequenza di clock di 4.6 GHz.

3.2 Test dei casi limite

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti con settaggi inusuali della camera e dei centri di presa. Tutti i test sono stati eseguiti su di un dataset fornito dal docente responsabile del progetto, costituito da un DEM e da un'ortofoto in formato .tif. In figura 7 e in figura 8 sono visualizzati tali file.



Figura 7 Ortofoto del dataset

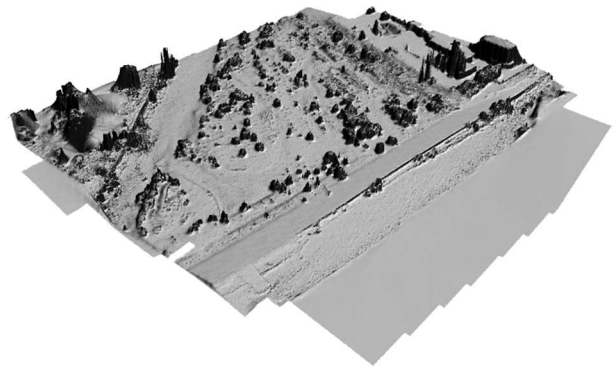


Figura 8 Simulazione 3D del DEM ottenuta utilizzando il software QGIS3

3.2.1 Test del parametro di lunghezza focale

È stato testato un range di lunghezza focali compreso tra 2 e 200 millimetri su un sensore di dimensione 36x24mm. Nessun test ha riportato risultati anomali. Di seguito vengono riportate le immagini relative ai due casi estremi di 2 e 200mm.

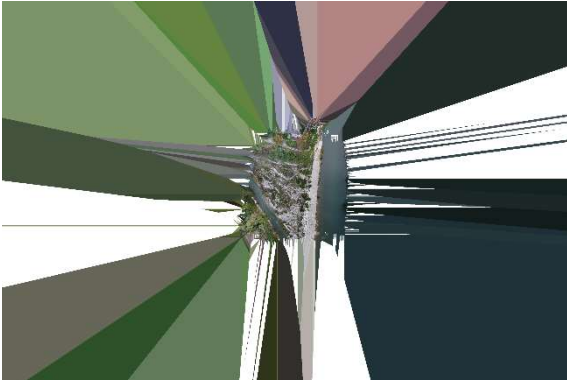


Figura 5 Test lunghezza focale 2 mm



Figura 4 Test lunghezza focale 200 mm

3.2.2 Test dei parametri di rotazione (ω , φ , κ)

Inizialmente sono stati settati a 0 gradi ω e φ e ponendo κ ad offset di 90 gradi si sono ottenute 4 immagini ognuna ruotata di 90 gradi rispetto alla precedente. Quindi sono stati modificati anche ω e φ fino ad inclinazioni di ± 45 gradi rispetto all'inclinazione parallela al terreno. Di seguito sono riportati alcuni risultati ottenuti.



Figura 6 Test ($\omega=5$, $\varphi=1$, $\kappa=-143$)



Figura 7 Test ($\omega=5$, $\varphi=15$, $\kappa=-53$)



Figura 8 Test ($\omega=5$, $\varphi=1$, $\kappa=-53$)

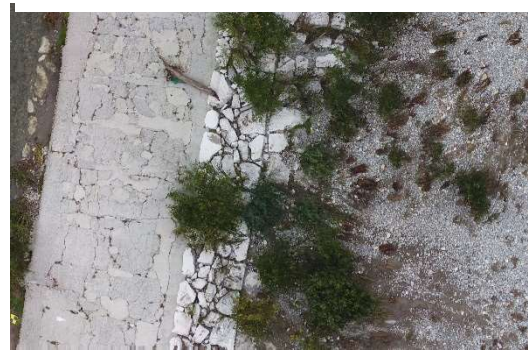


Figura 9 Test ($\omega=15$, $\varphi=1$, $\kappa=-53$)

3.2.3 Test dei parametri di offset del punto principale (ξ, η)

Tali parametri esprimono di quanti mm in altezza e larghezza la proiezione del centro di presa è spostata rispetto al centro del sensore. Su un sensore di 36x24mm sono stati testati valori di offset estremi fino a ($\xi = 18\text{mm}$, $\eta = 12\text{mm}$), più un caso particolare con $\xi = 25\text{mm}$. Di seguito sono riportati alcuni risultati.



Figura 11 Test ($\xi=0$, $\eta=0$)



Figura 10 Test ($\xi=0$, $\eta = -10$)

3.2.4 Test vari

Ulteriori test sono stati effettuati sulla dimensione del sensore e la risoluzione dell'immagine. In particolare, è stata simulata un'immagine con risoluzione di 1x1 pixel ed una con 10000x10000 pixel, quindi una con un sensore di soli 2x2mm ed una con un sensore di ben 80x80mm. Infine si è testato il settaggio personalizzato di sensore e risoluzione con rapporti differenti (ad esempio sensore di 4:3 su risoluzione ad 1:1), ottenendo un aspetto dell'immagine distorto, come previsto. Di seguito sono riportati alcuni risultati.

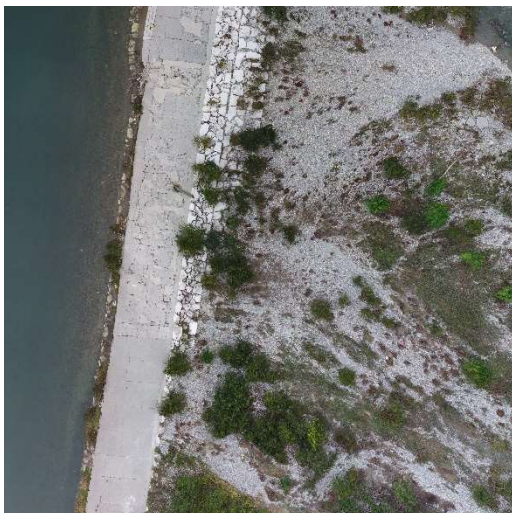


Figura 13 Test sensore 80x80mm



Figura 12 Test sensore 1:1 e risoluzione 3:2

4 Conclusioni

In conclusione, il programma, passando tutti i test a cui è stato sottoposto, risulta adatto a soddisfare le specifiche e gli obiettivi del progetto. Confrontando le foto reali scattate dal drone a quelle simulate dal software si è ottenuto un risultato di similarità più che sufficiente. Inoltre, i tempi di esecuzione sono stati ritenuti consoni alle richieste. In merito a questi ultimi, tali performance sono state ottenute grazie alla tecnica sopra descritta di elaborare solo l'area di pixel dell'ortofoto individuata applicando le equazioni di collinearità agli angoli del sensore. Questa soluzione risulta inefficace solamente quando si applicano valori di (ξ, η) di molto superiori alle metà delle dimensioni del sensore, oppure quando ω e φ hanno valori di inclinazione particolarmente accentuati (ad esempio di 35 gradi). In quei casi, prendendo come Z prefissata nelle equazioni di collinearità la quota minima trovata nel DEM, si ottiene un'area che copre soltanto parzialmente i pixel da elaborare, creando un'immagine con parte delle informazioni mancanti. Una semplice soluzione sarebbe quella di allargare all'occorrenza l'area individuata, o processare direttamente tutti i pixel dell'ortofoto. Ovviamente quest'ultima opzione deteriorerebbe sensibilmente le prestazioni. Ad ogni modo i casi limite appena citati sono da ritenersi alquanto inusuali.