

## Acquisizione dei dati 3D - 1

### Note della lezione

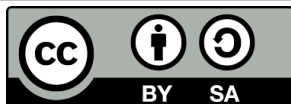
#### **Autore(i)/Organizzazione(i):**

Vlado Cetl (UNIN)

Sanja Šamanović (UNIN)

Danko Markovinović (UNIN)

#### **Licenza**



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

#### **Versione**

Versione 1.0

Data: 2024-01-15

#### **Risultati di apprendimento**

Al termine di questa lezione, lo studente dovrà essere in grado di

- Spiegare le tecnologie di acquisizione dei dati geospaziali 3D
- Descrivere le modalità di utilizzo dei dati acquisiti con diversi sensori (UAV, ALS, TLS, Tacheometria).

#### **Competenze attese per l'accesso alla lezione**

- Non sono richiesti prerequisiti specifici

## **Sintesi**

La lezione illustra le tecnologie di rilevamento per l'acquisizione di dati geospaziali 3D: tacheometria e fotogrammetria.

## **Carico di lavoro previsto**

24 diapositive con contenuti didattici, circa 2 ore

## **Dichiarazione di non responsabilità**

*Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili*



Cofinanziato  
dall'Unione europea



## Contenuto della lezione

Introduzione	4
Tacheometria	4
Fotogrammetria	6
Riferimenti bibliografici:	15



## Introduzione

Esistono diversi metodi di rilievo per l'acquisizione di dati 3D. I più utilizzati sono: Tacheometria, Fotogrammetria e Laser Scanner 3D.

Acquisizione dati 3D - 1 Gli appunti delle lezioni coprono la tacheometria e la fotogrammetria.

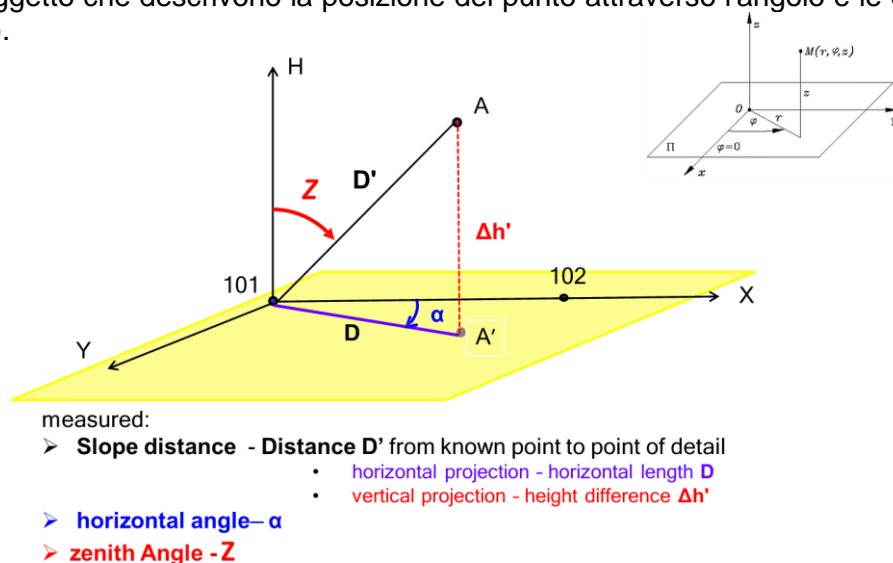
## Tacheometria

Il rilievo tacheometrico è uno dei metodi di rilievo angolare in cui si utilizza un tacheometro elettronico o una stazione totale (Figura 1) per determinare la distanza orizzontale e verticale tra due punti.



Figura 1. Tacheometro (stazione totale)

La tacheometria è il processo di misurazione dell'angolo orizzontale, dell'angolo verticale e della distanza in pendenza per calcolare le coordinate polari tridimensionali di un oggetto che descrivono la posizione del punto attraverso l'angolo e le distanze. (Figura 2).



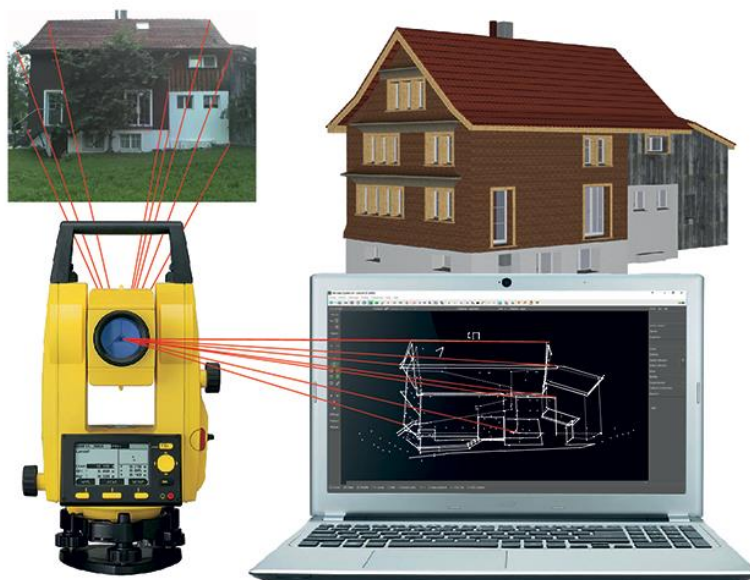
measured:

- **Slope distance** - Distance  $D'$  from known point to point of detail
  - horizontal projection - horizontal length  $D$
  - vertical projection - height difference  $\Delta h'$
- **horizontal angle** -  $\alpha$
- **zenith Angle** -  $Z$

Figura 2. Tacheometria



I rilievi tacheometrici vengono solitamente eseguiti per misurare la posizione tridimensionale di punti sul paesaggio e sugli edifici (Figurea3), al fine di produrre piani di contorno e di dettaglio per ulteriori lavori, o per produrre coordinate per il calcolo di aree e volumi.



Figurea3. Applicazione del rilievo tacheometrico

La tacheometria in BIM viene utilizzata per il tracciamento degli edifici prima dei lavori di costruzione e anche per il rilievo As-built. (Figura 4).



Figura 4. Rilevamento con tachimetro e rilievo As-built



## Fotogrammetria

La fotogrammetria è ampiamente riconosciuta come un settore di spicco nell'ambito delle scienze informatiche applicate. Collabora attivamente con le discipline affini, come rappresentato visivamente in Figura 5

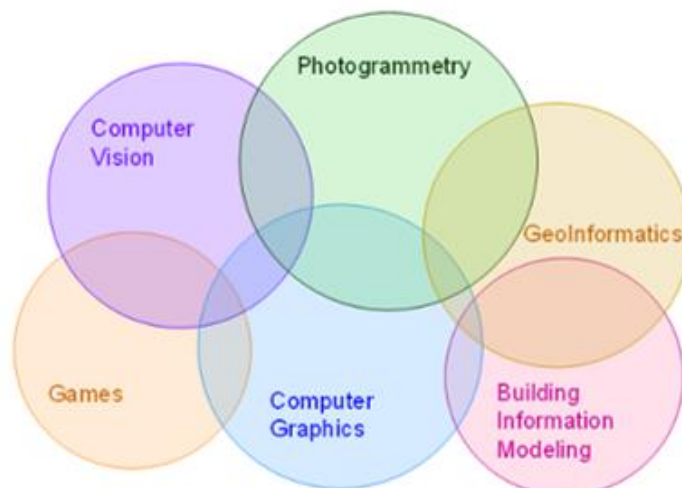


Figura 5. *Fotogrammetria e altre discipline*

**La fotogrammetria** è classificata in due tipi: fotogrammetria aerea e fotogrammetria terrestre. La fotogrammetria aerea e quella terrestre sono utilizzate per la mappatura e la misurazione. La fotogrammetria aerea è a distanza e quella terrestre è a distanza ravvicinata.

Il primo passo consiste nello scattare una foto dell'oggetto o del terreno con diverse angolazioni e posizioni. Queste immagini devono essere sovrapposte per garantire che lo stesso oggetto o elemento appaia in più immagini. Successivamente, vengono identificati i punti o gli elementi caratteristici nelle immagini. Questi punti vengono utilizzati per allineare le immagini e creare la geometria 3D e calcolare le coordinate 3D dei punti caratteristici utilizzando le coppie di immagini in cui compaiono questi punti. Dopo il calcolo delle coordinate 3D, vengono create nuvole di punti che rappresentano la distribuzione spaziale 3D dei punti sulla superficie dell'oggetto o del terreno. Le nuvole di punti possono essere utilizzate per creare un modello 3D della superficie dell'oggetto. Utilizziamo le immagini originali per aggiungere colori e dettagli al modello 3D (texturing), rendendolo più attraente e realistico. Alla fine, il modello 3D può essere visualizzato su un computer o in un ambiente virtuale. Può anche essere analizzato, misurato e utilizzato per vari scopi, come il design, la conservazione del patrimonio culturale, i giochi e la ricerca scientifica.

### **Fotogrammetria aerea:**

- consiste nel catturare fotografie da una posizione elevata
- tramite velivoli o droni



- utilizzato per applicazioni di mappatura, rilievo e monitoraggio su larga scala
- rilievo del territorio, pianificazione urbana, monitoraggio ambientale e agricoltura
- modo economico ed efficiente per acquisire dati 3D su larga scala e su aree estese

Durante la fotogrammetria aerea, il sensore montato sul velivolo raccoglie molte fotografie ad alta risoluzione di un'area dal cielo. Queste foto si sovrappongono in una certa percentuale e, in caso di sovrapposizione, si deve fare attenzione a garantire che un certo dettaglio dell'area di interesse sia visibile su più scatti. Il risultato di questa tecnica di imaging è una ricostruzione 3D dell'area/oggetto target. Tale modello contiene informazioni sull'altezza del terreno, sulla struttura, sulla forma e sul colore di ciascun punto registrato. In base alla sovrapposizione tra le immagini, è possibile ottenere un'ortofoto - un'immagine aerea bidimensionale - e un DMR - una rappresentazione 3D dell'area. Combinando ortofoto e DMR, viene creato un modello 3D dell'area richiesta.

Fotogrammetria a distanza ravvicinata/fotogrammetria terrestre

- si riferisce a situazioni in cui la fotocamera è relativamente vicina al soggetto da riprendere
- comunemente utilizzato per oggetti o scene di piccole e medie dimensioni
- utilizzato in ambienti controllati
- adatto ad applicazioni che richiedono misurazioni dettagliate e modelli 3D accurati
- archeologia, documentazione del patrimonio culturale, progettazione di prodotti, medicina legale, reverse engineering, realtà virtuale

La **fotogrammetria terrestre** svolge un ruolo importante nella conservazione degli oggetti del patrimonio culturale. Il vantaggio di tale fotogrammetria è la possibilità di effettuare misure all'interno degli oggetti stessi (ad esempio, stanze di edifici). A differenza della fotogrammetria aerea, in cui i prodotti finali sono realizzati sulla base delle fotografie aeree ottenute, nella fotogrammetria terrestre le immagini fotografiche sono raccolte con una fotocamera di misurazione a livello della superficie terrestre (Figura 6). La fotogrammetria terrestre trova applicazione anche nella misurazione, cioè nella determinazione degli spostamenti dinamici degli oggetti.



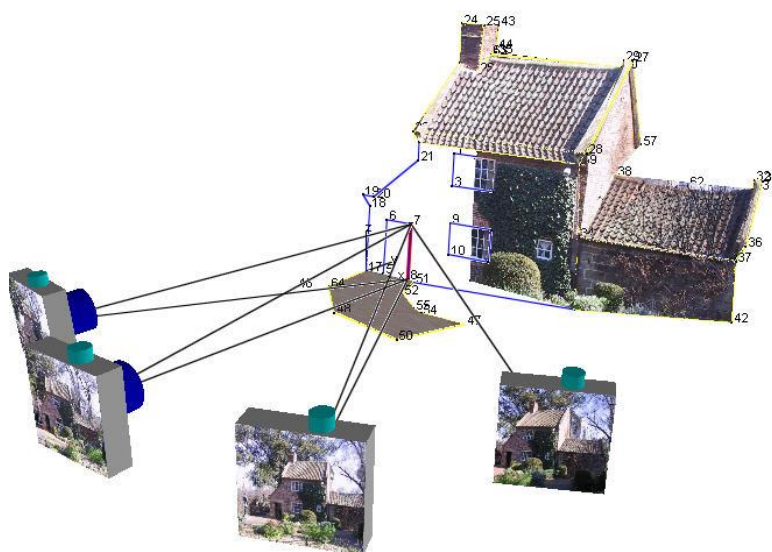


Figura 6. *Fotogrammetria terrestre*

La **fotogrammetria di prossimità** è una tecnica utilizzata per creare modelli o misurazioni 3D accurati di oggetti e scene utilizzando fotografie scattate da una distanza relativamente ridotta. Ha un'ampia gamma di applicazioni in vari campi, tra cui l'architettura e l'edilizia, la conservazione dei beni culturali, l'archeologia, le indagini forensi, la progettazione e la produzione industriale, la realtà virtuale e i giochi, la medicina e la sanità, il cinema e l'animazione.

Figura 7 mostra il confronto tra il rilievo aereo con un velivolo con equipaggio e l'uso di UAV nella **fotogrammetria aerea**.

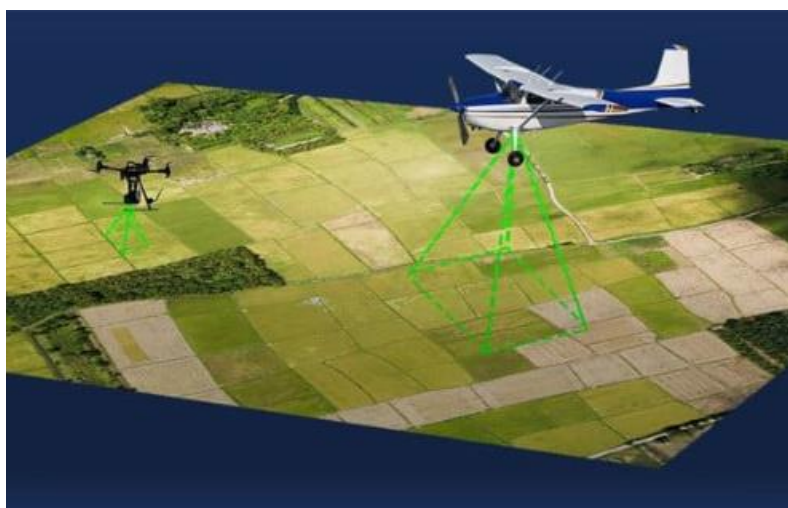


Figura 7. *Rilievo aereo con un velivolo con equipaggio o con UAV*





La decisione di impiegare velivoli con equipaggio, veicoli aerei senza equipaggio (UAV) o una combinazione di entrambi dipende da vari fattori. I progressi significativi dei veicoli aerei senza pilota (UAV) hanno ampliato notevolmente le opzioni di rilevamento, fotografia, misurazione e mappatura su diversi terreni rispetto agli aerei tradizionali. Questa innovazione ha portato anche a una maggiore efficienza e a un risparmio sui costi per le organizzazioni di tutte le dimensioni. La scelta tra i due mezzi è una considerazione fondamentale nei progetti di rilievo, in quanto le organizzazioni valutano se sostituire gli aerei con equipaggio con gli UAV.

In alcuni casi, una piattaforma può essere la scelta superiore o l'unica opzione possibile, ma il più delle volte entrambi i tipi di piattaforme aeree si completano a vicenda. I velivoli con equipaggio eccellono nella copertura rapida di aree estese e nel trasporto di sensori pesanti, grazie alla loro lunga durata. D'altro canto, gli UAV sono migliori in aree in cui i velivoli con equipaggio non possono operare in sicurezza, come ad esempio in prossimità di edifici o torri di telefonia cellulare. Gli UAV sono la prima scelta per i luoghi in cui gli aerei con equipaggio non possono volare, come strade strette, sotto i ponti o all'interno di stadi chiusi. Sono anche la soluzione migliore per effettuare rilievi ripetitivi di aree più piccole, come il monitoraggio dell'avanzamento dei cantieri.

La scelta tra velivoli con equipaggio e UAV dipende dai requisiti specifici del progetto e spesso una combinazione strategica di entrambe le piattaforme si rivela l'approccio più efficace.

Un rilievo aereo standard basato su immagini prevede le fasi essenziali della pianificazione del volo e, se necessario, la misurazione dei punti di controllo a terra (GCP) per una georeferenziazione accurata. Dopo l'acquisizione dei dati, le immagini possono servire a diversi scopi, tra cui lo stitching e il mosaico, oppure possono essere utilizzate come input per il processo fotogrammetrico. In quest'ultimo caso, le fasi iniziali prevedono la calibrazione della fotocamera e la triangolazione delle immagini per facilitare la generazione di un Modello Digitale di Superficie (DSM) o di un Modello Digitale del Terreno (DTM). Questi prodotti possono essere utilizzati per varie applicazioni, come la produzione di ortoimmagini, la modellazione 3D o l'estrazione di informazioni aggiuntive. Il flusso di lavoro generale è rappresentato nella figura, con i parametri di input evidenziati in verde e le singole fasi del flusso di lavoro dettagliate in giallo. (Figura 8).

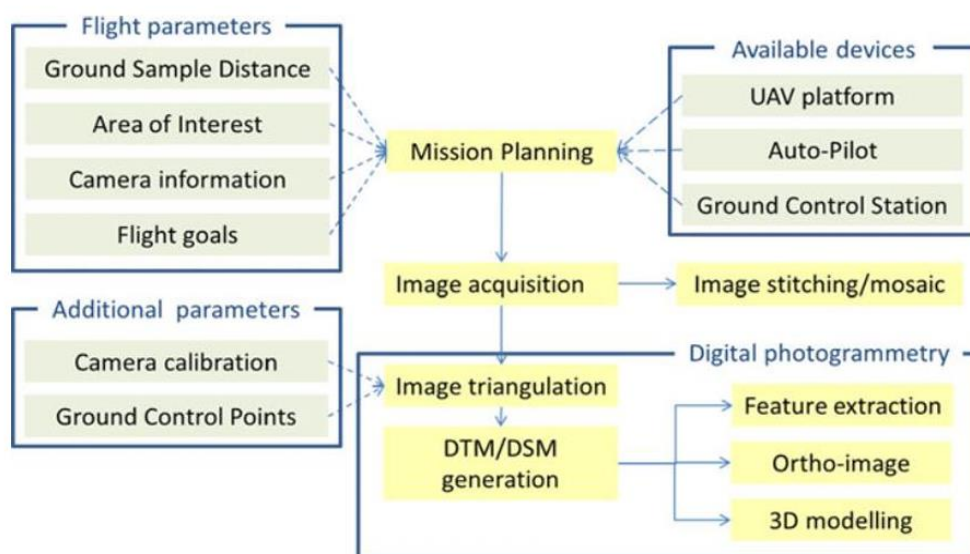


Figura 8. *Flusso di lavoro della fotogrammetria aerea*

In genere, la missione, che comprende sia la pianificazione del volo (Figura 9) che l'acquisizione dei dati, viene preparata meticolosamente all'interno di un ambiente software dedicato. Questo processo inizia con una comprensione approfondita dell'area di interesse (AOI), della distanza di campionamento al suolo (GSD) desiderata, o footprint, nonché delle specifiche intrinseche della fotocamera digitale a bordo. La scelta della scala dell'immagine e della lunghezza focale della fotocamera rimane tipicamente fissa per determinare l'altitudine di volo ottimale della missione. I centri prospettici della telecamera sono calcolati con precisione stabilendo le percentuali di sovrapposizione longitudinale e trasversale, come la configurazione comunemente usata dell'80%-60%. Vale la pena notare che questi parametri possono variare in modo significativo a seconda degli obiettivi specifici del volo. Per le missioni finalizzate alla generazione di modelli 3D complessi, si privilegiano sovrapposizioni più elevate e voli a bassa quota per ottenere GSD più fini. Al contrario, i voli rapidi progettati per i rilievi e la gestione delle emergenze richiedono una copertura più ampia in pochi minuti, anche se con una risoluzione inferiore.

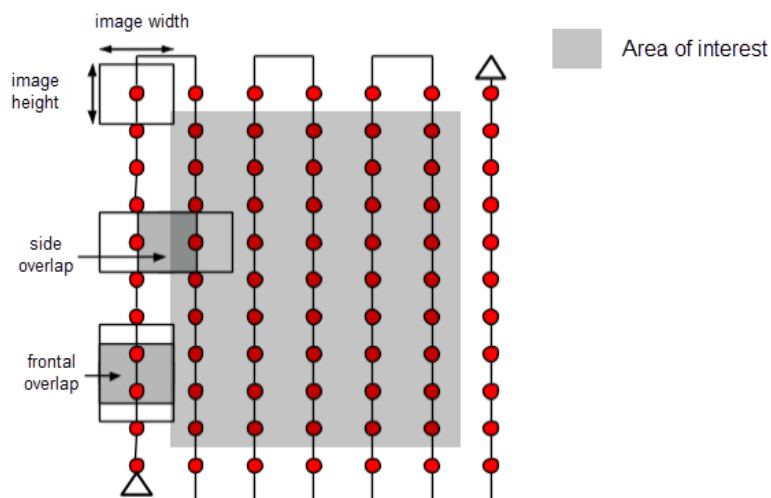


Figura 9. Piano di volo

Il progetto contiene un piano di volo e un piano di layout per i punti di orientamento. Il progetto definisce le differenze pianificate dovute ai dislivelli del terreno e una sovrapposizione trasversale che deve garantire una connessione stereoscopica tra le matrici adiacenti.

La costruzione di un'ortofoto o di un mosaico richiede che le immagini abbiano una certa sovrapposizione. La sovrapposizione delle immagini non è altro che il caso in cui fotografie in posizioni geografiche diverse hanno un punto in comune. Pertanto, attraverso concetti di geometria fotografica, è possibile eseguire calcoli per generare il mosaico con maggiore precisione. Tra i tipi di sovrapposizione, abbiamo la sovrapposizione laterale e la sovrapposizione longitudinale, come illustrato in Figura 10.

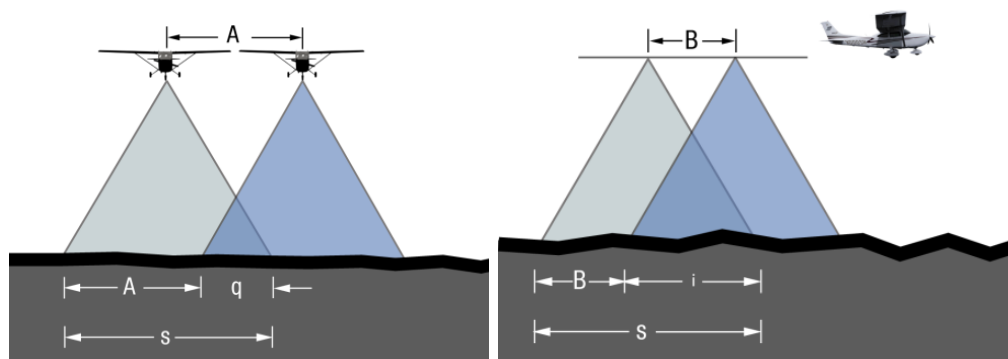


Figura 10. Sovrapposizione di immagini

L'aerotriangolazione è un processo di lavoro eseguito con hardware e software fotogrammetrici, il cui obiettivo è ottenere coordinate equalizzate dei punti di riferimento e di connessione di base e degli elementi di orientamento esterno per ogni singola



ripresa, in base alle quali è possibile formare stereopie per la misurazione fotogrammetrica o creare un'ortofoto digitale.

## Sensori

I dispositivi utilizzati per acquisire immagini o dati dalla scena osservata svolgono un ruolo cruciale nella fotogrammetria e nel telerilevamento. Questi dispositivi sono spesso montati su varie piattaforme, come satelliti, aerei, droni (UAV) o veicoli a terra, per catturare immagini o dati da analizzare e modellare successivamente.

Un progresso significativo nel telerilevamento e nella fotogrammetria moderni è la possibilità di utilizzare più sensori su un'unica piattaforma. Questo approccio consente di raccogliere contemporaneamente diversi tipi di dati, migliorando la ricchezza delle informazioni raccolte. Ad esempio, una singola piattaforma aerea o satellitare può essere dotata di sensori per l'acquisizione di immagini visibili, dati a infrarossi, dati LiDAR (Light Detection and Ranging) e altro ancora. Questo approccio multi-sensore consente un'analisi e una modellazione completa dell'area osservata, poiché fornisce dati provenienti da diverse parti dello spettro elettromagnetico e da varie modalità di sensori.

I sensori vengono spesso suddivisi in sensori attivi e passivi, ciascuno dei quali svolge un ruolo fondamentale in diverse applicazioni e discipline scientifiche.

I sensori passivi sono dispositivi che registrano la radiazione elettromagnetica emessa o riflessa da corpi e oggetti, senza utilizzare fonti di luce o di segnale proprie. Questo tipo di sensori svolge un ruolo fondamentale nella ricerca scientifica, nella tecnologia e nelle applicazioni quotidiane.

I sensori attivi emettono segnali o luce propria verso il bersaglio e registrano il feedback. Sono indipendenti dalla fonte di luce naturale e possono fornire informazioni più precise in determinate situazioni.

Esempi di sensori passivi sono:

- GNSS (Global Navigation Satellite System) - utilizza i segnali satellitari per determinare la posizione geografica e l'ora esatta.
- Sensori a infrarossi (IR) - rilevano la radiazione infrarossa emessa dal corpo e dagli oggetti in base alla loro temperatura. Sono utilizzati nelle misurazioni termodinamiche e meteorologiche e nella visione notturna.
- Sensori a spettro visibile - rilevano la luce nello spettro visibile della radiazione elettromagnetica. Questi sensori sono ampiamente utilizzati nella fotografia, nella videosorveglianza e in vari dispositivi ottici.
- Sensori multispettrali/iper-spettrali - utilizzano le radiazioni passive che il corpo riflette o emette in una gamma molto più ampia dello spettro elettromagnetico rispetto alla luce visibile. Ciò consente analisi più dettagliate del materiale e dell'ambiente. Le applicazioni includono l'agricoltura, l'esplorazione mineraria e il telerilevamento.



Esempi di sensori attivi sono:

- LiDAR (Light Detection and Ranging) - invia impulsi laser verso la superficie e misura il tempo di ritorno del segnale luminoso riflesso. Il LiDAR viene utilizzato per creare modelli digitali del terreno di alta precisione e per la scansione 3D.
- SAR (Synthetic Aperture Radar) - utilizza le radiazioni a microonde per ottenere immagini della superficie terrestre. Il SAR è utile in tutte le condizioni atmosferiche e consente di osservare la superficie anche attraverso le nuvole e di notte.

### **Modelli 3D (Prodotti)**

Un Modello Digitale di Elevazione (DEM) è una rappresentazione digitale della superficie terrestre. È un set di dati 3D che descrive l'elevazione o l'altezza della superficie terrestre in vari punti di un'area specifica. I DEM sono utilizzati in diverse applicazioni, tra cui la mappatura topografica, la pianificazione territoriale, l'idrologia e la modellazione ambientale. Un modello digitale rappresenta sempre un qualche tipo di superficie. A seconda di ciò che è incluso in esso dalla superficie terrestre, si distinguono DTM e DSM. Possiamo dire che la differenza principale tra un Modello Digitale del Terreno (DTM) e un Modello Digitale di Superficie (DSM) risiede nelle informazioni che rappresentano e nel modo in cui vengono creati.

Il Modello Digitale del Terreno (DTM) rappresenta la superficie terrestre nuda, escludendo la vegetazione, gli edifici o altri elementi in superficie. Include la topografia del terreno, come montagne, valli, colline e le variazioni di quota del suolo. I DTM sono spesso utilizzati in applicazioni come il rilevamento del territorio, l'ingegneria civile, l'idrologia e l'analisi del terreno. Per creare un DTM, tutti gli elementi in superficie, come gli edifici e la vegetazione, vengono rimossi o "appiattiti" digitalmente dai dati, lasciando solo il terreno sottostante.

Il modello digitale di superficie (DSM) rappresenta la superficie terrestre così come appare con tutte le caratteristiche superficiali, comprese le strutture naturali e artificiali come edifici, alberi e altri oggetti. Include sia la topografia del terreno che qualsiasi elemento in superficie. I DSM sono utili per applicazioni come la pianificazione urbana, la modellazione 3D, l'analisi della vegetazione e la modellazione delle inondazioni, in quanto catturano l'intera complessità della superficie. La creazione di un DSM implica in genere la conservazione di tutti i punti dei dati altimetrici, compresi quelli che rappresentano gli edifici, la vegetazione e altri elementi in superficie.

Sia i DTM che i DSM forniscono informazioni altimetriche, ma i DTM si concentrano esclusivamente sulla topografia del terreno, escludendo gli elementi fuori terra, mentre i DSM catturano l'intera superficie, compreso il terreno e tutti gli oggetti su di esso. La scelta di utilizzare un DTM o un DSM dipende dall'applicazione specifica e dalla necessità di analizzare il terreno naturale o di considerare tutte le caratteristiche della superficie.



Le ortofoto e le ortofoto vere sono tipi di immagini aeree o satellitari utilizzate nella mappatura e nelle applicazioni geospaziali. Il mosaico di ortofoto è uno dei prodotti più popolari della fotogrammetria moderna. È un prodotto che mostra esplicitamente il terreno e gli edifici costruiti.

La differenza principale tra le ortofoto e le ortofoto vere risiede nel trattamento degli elementi fuori terra. Le ortofoto correggono le distorsioni geometriche ma includono gli oggetti in superficie, mentre le ortofoto vere e proprie eliminano gli elementi in superficie, fornendo una rappresentazione più accurata della nuda superficie terrestre.

La **nuvola di punti 3D** è un insieme di punti di dati in un sistema di coordinate 3D. Ogni punto rappresenta una singola misura spaziale sulla superficie dell'oggetto, una coordinata di oggetti. Nel complesso, una nuvola di punti rappresenta l'intera superficie esterna di un oggetto.

La nuvola di punti 3D è composta da milioni di punti alle coordinate X, Y e Z corrette con informazioni in scala di grigi o di colore assegnate. Questa forma di Reality Capture rappresenta le condizioni precise di un edificio o di uno spazio e funziona meglio con software di modellazione come Autodesk Revit. Le nuvole di punti sono prodotte dalla fotogrammetria o dagli scanner laser 3D, che misurano le dimensioni fisiche delle superfici visibili degli edifici e degli oggetti che li circondano.

A differenza dei dati delle nuvole di punti 3D, un modello informativo dell'edificio (BIM) fornisce una rappresentazione digitale dell'edificio stesso. Questo è noto come "gemello digitale". Gli elementi del modello 3D hanno dimensioni e proprietà che possono essere programmate e conteggiate, mentre le informazioni del database possono essere allegate per tracciare le specifiche, l'analisi dei costi, l'efficienza energetica, la manutenzione e la riparazione e molto altro ancora. Il modello 3D diventa una risorsa condivisa di informazioni su una struttura e costituisce una base affidabile per le decisioni durante il suo ciclo di vita, dalla concezione del progetto fino alla sua demolizione.



## Riferimenti bibliografici

[https://www.geoskola.hr/~gsurina/TAHIMETRIJA\\_2015\\_16.pdf](https://www.geoskola.hr/~gsurina/TAHIMETRIJA_2015_16.pdf)

<https://bimlearningcenter.com/bim-101-total-station-measurement-methods/>

<https://www.cedengineering.com/userfiles/An%20Introduction%20to%20Survey%20Methods%20and%20Techniques%20R1.pdf>

<https://getbookblog.files.wordpress.com/2016/08/fundamentals-of-surveying-royengineersdaily-com.pdf>

<https://gisgeography.com/what-is-photogrammetry/>

<https://www.photogrammetry.com/>

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-8983-6\\_23](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-8983-6_23)

[https://www.more-connect.eu/wp-content/uploads/2017/05/3rd\\_training-module\\_short.pdf](https://www.more-connect.eu/wp-content/uploads/2017/05/3rd_training-module_short.pdf)

<https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/>