

CORSO DI FOTOGRAMMETRIA E TELERILEVAMENTO

Prof. Riccardo Roncella

LASER SCANNER



Ambito di utilizzo

- Tipologia di rilevamento: **acquisizione della geometria di superfici in modo statico con tecniche “non a contatto”**
- Dimensioni degli interventi:
 - da poche decine di cm (“close-range”)
 - Oggetti di tipo architettonico
 - Elementi del territorio (pareti rocciose, frane, ...)
 - Esiste poi il rilievo mediante “laser scanning” da aereo (LIDAR)



Strumentazione laser

- La strumentazione laser per la misura di superfici consente di acquisire direttamente le coordinate 3D dei punti
- Non è necessario eseguire complesse elaborazioni su altri tipi di dati (immagini,...)
- La fase di elaborazione riguarda:
 - la registrazione geometrica (georeferenziazione) della nuvola di punti;
 - la sua organizzazione;
 - l'estrazione di informazioni.
- P.S.: problemi che comunque ci sono anche con la fotogrammetria!



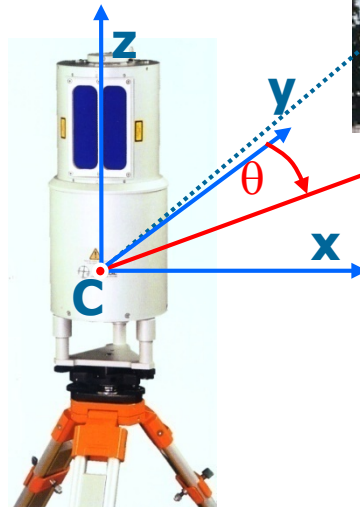
Principi di funzionamento

- Esistono tre tipologie di laser scanner:
 - Laser scanner a tempo di volo (*Time of Flight - ToF*)
 - Portate fino a 2 km
 - Precisioni sulla misura di distanza da 1-2 mm sino ad alcuni cm
 - Impiego in campo architettonico e territoriale
 - Laser scanner a differenza di fase
 - Portate fino a circa 100 m
 - Precisioni sulla misura di distanza nell'ordine di pochi 1mm
 - Impiego in campo architettonico e territoriale
 - Acquisizione piuttosto lenta!
 - Laser scanner a triangolazione
 - Portate molto ridotte (fino a pochi metri)
 - Precisioni molto elevate (<0.1 mm))
 - Impiego in campo meccanico, industriale e nel restauro-rappresentazione di piccoli manufatti



Calcolo delle coordinate cartesiane

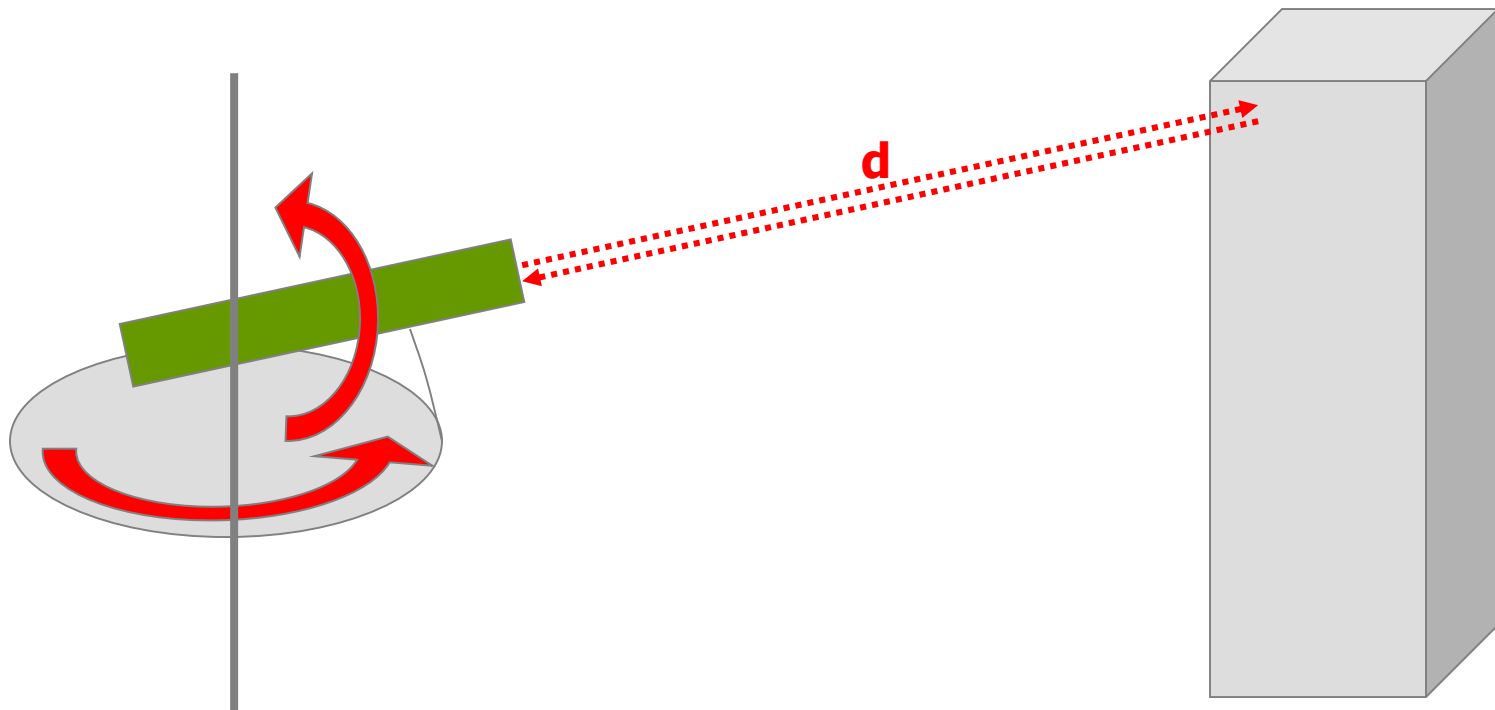
- Allo scanner è associato un sistema di riferimento intrinseco, all'interno del quale è possibile determinare la posizione di ciascuno punto della superficie acquisita
- Nel caso lo strumento sia dotato di una livella e di organi di regolazione, quali le viti calanti, si può fare coincidere l'asse z del sistema di riferimento intrinseco con la verticale (linea del filo a piombo) per il punto di stazione



$$\begin{cases} X = d \cos \alpha \sin \theta \\ Y = d \cos \alpha \cos \theta \\ Z = d \sin \alpha \end{cases}$$

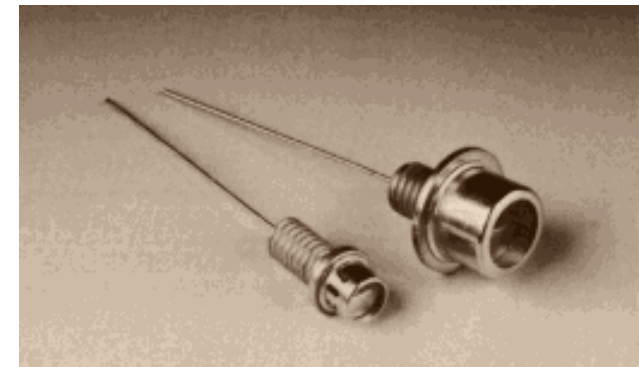
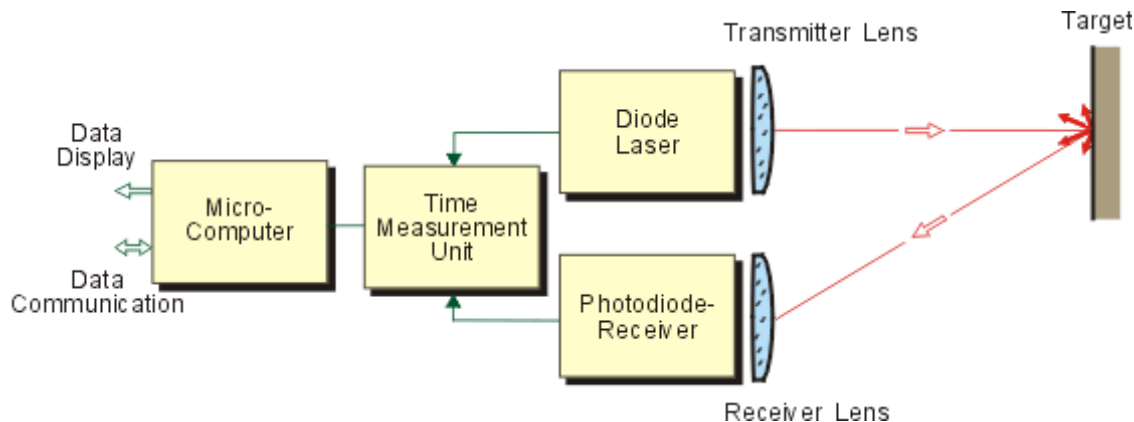
Laser scanner *ToF* e a misura di fase

- Sono basati sulla misura della distanza d percorsa da un impulso dal punto di emissione all'oggetto
- Conoscendo gli angoli di rotazione nel piano orizzontale e verticale, si calcolano le coordinate del punto colpito
- L'emettitore laser ruota in un piano orizzontale e in uno verticale permettendo così di rilevare l'intera superficie



Misura della distanza con tecnica *Tof*

- La misura della distanza è basata sulla valutazione del tempo impiegato da un impulso luminoso per andare dallo strumento all'oggetto e tornare indietro (stesso principio del *radar*)
- Viene utilizzato un diodo foto-emittitore laser (di solito all'arseniuro di gallio) che viene eccitato elettricamente per un tempo brevissimo (circa 10^{-9} s)
- L'esatta misura del tempo t tra l'emissione dell'impulso e la ricezione permetterebbe di calcolare la distanza come (c è la velocità della luce, nota):



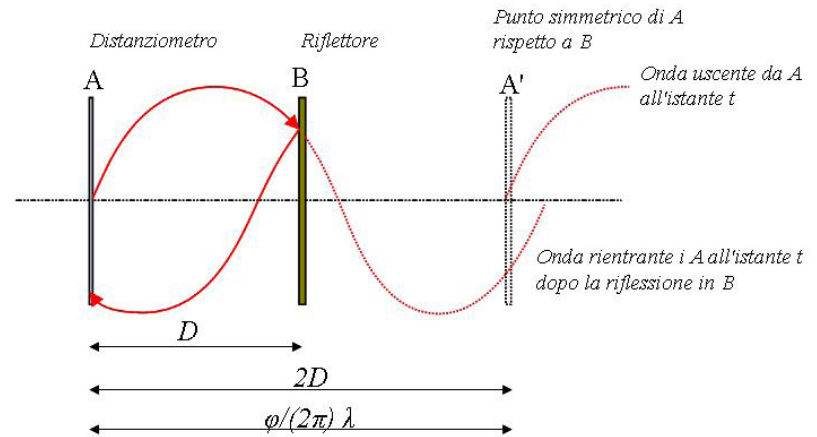
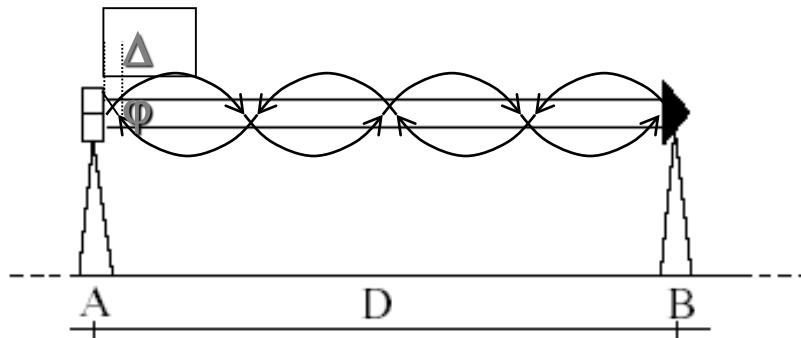
$$d = \frac{ct}{2}$$

– Vantaggi della tecnica *Tof*:

- Misura non influenzata da parametri ambientali;
- Elevata velocità di misurazione (dipende anche dalla distanza a cui si trova l'oggetto)
- E' sufficiente un segnale di ritorno con debole potenza (funziona anche su superfici che assorbono il segnale laser)
- Essendo un metodo a impulsi e non a segnale continuo si ha un risparmio sui consumi di energia (batterie ridotte)
- Modalità di misura:
 - A impulso singolo
 - Media di più impulsi (maggior precisione)

Misura della distanza basata sulla fase

- In questo caso viene generato un segnale sinusoidale continuo
- La grandezza misurata è lo sfasamento $\Delta\phi$ tra l'onda emessa e quella ricevuta
- Se d è maggiore di metà della lunghezza d'onda, rimane un'ambiguità di fase che deve essere risolta
- Non è tuttavia possibile diminuire la lunghezza d'onda, in quanto il discriminatore di fase ha una precisione di circa 0.01 rad



$$2D = \lambda(\Delta\phi/2\pi)$$

Misura della distanza basata sulla fase

- Per determinare l'ambiguità intera di fase vengono utilizzati alcuni metodi:
 - Metodo per decadi (modulazione in ampiezza)
 - Combinazione di più frequenze
 - Modulazione in frequenza
- Tutti questi metodi richiedono l'acquisizione e l'elaborazione di più segnali, quindi sono più lenti rispetto alle misure ad impulsi (non vero per particolari strumenti).
- Le portate sono più ridotte perché per la misura di sfasamento è necessario avere un segnale riflesso con maggiore potenza



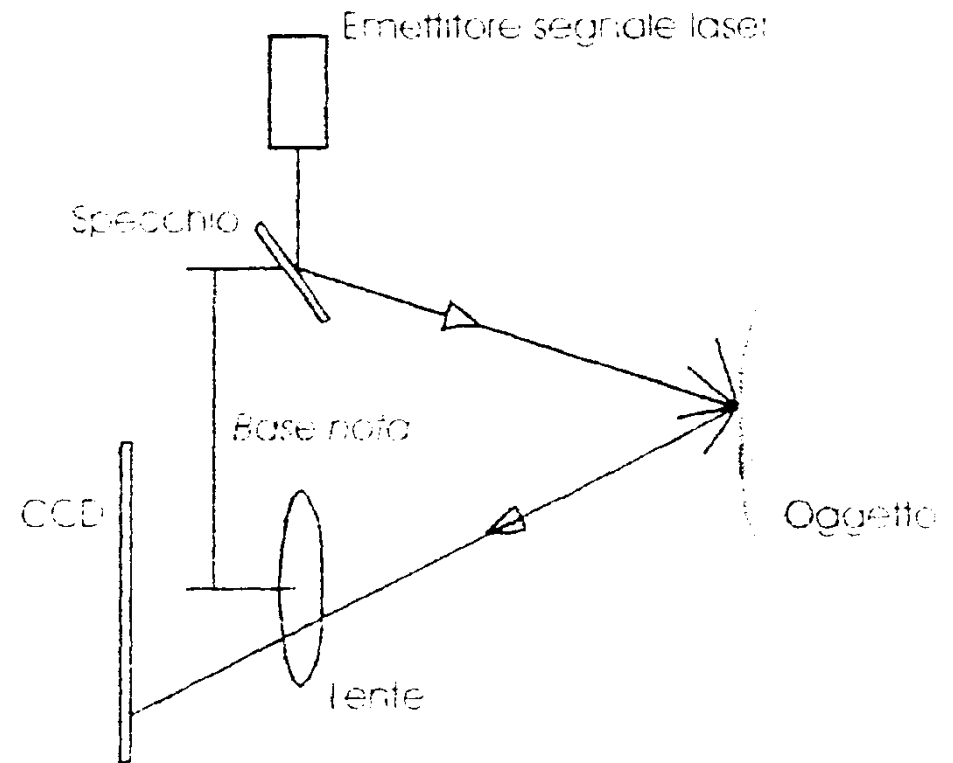
Modulazione in ampiezza

- I dispositivi che generano le onde producono lunghezze d'onda molto piccole
- Per le misure topografiche servono lunghezze d'onda più grandi
- Le onde possono essere modulate: variando ciclicamente l'intensità di un'onda, si può ottenerne una avente lunghezza d'onda maggiore



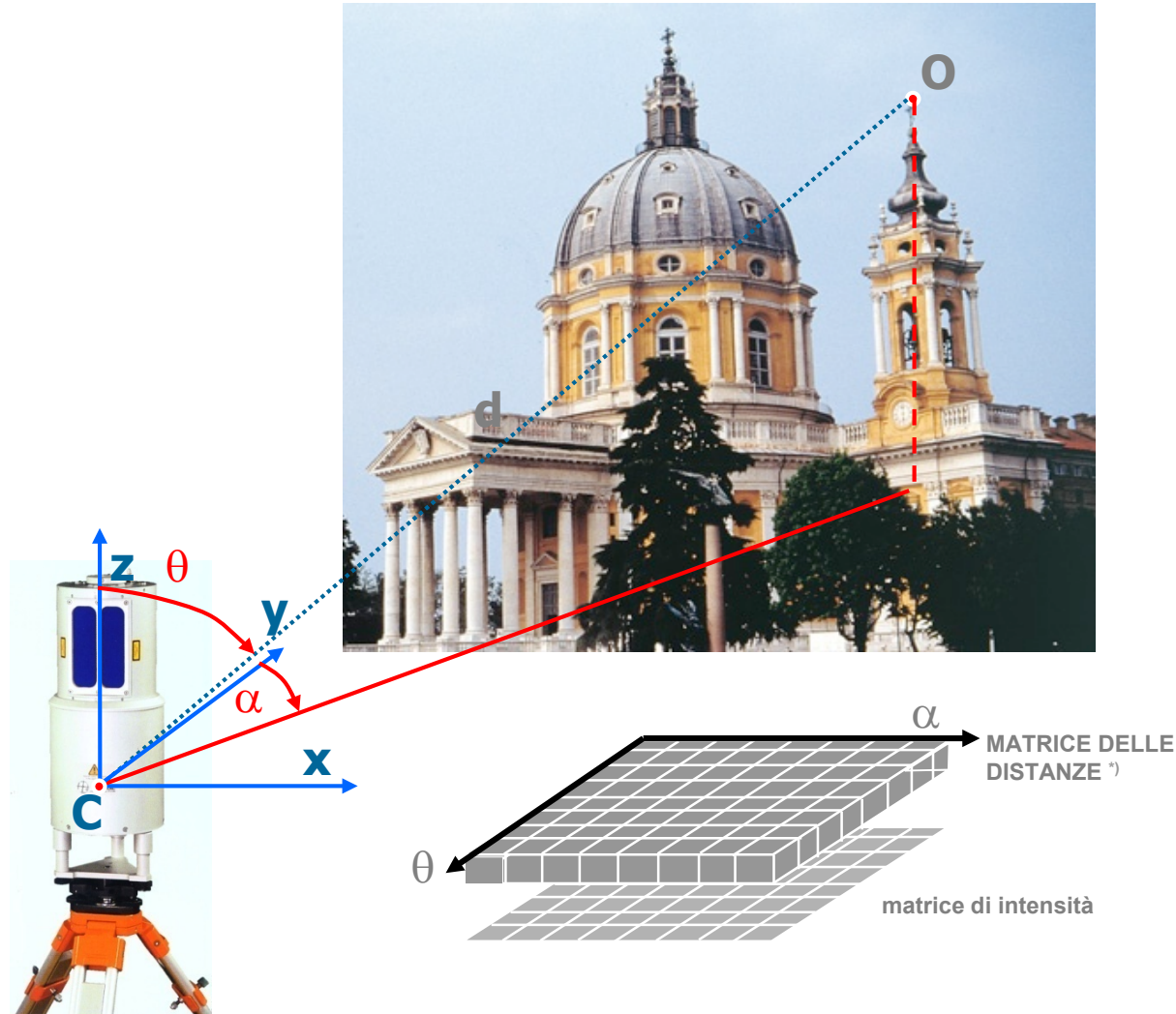
Laser scanner a triangolazione

- Il segnale laser viene ricevuto da un sensore CCD
- Essendo nota la base B , dalla misura sul sensore CCD (Charge Coupled Device) del segnale luminoso riflesso, si può calcolare la posizione del punto sull'oggetto
- Occorre una elevata riflettività del segnale:
 - Oggetti ben riflettenti
 - Distanze ridotte



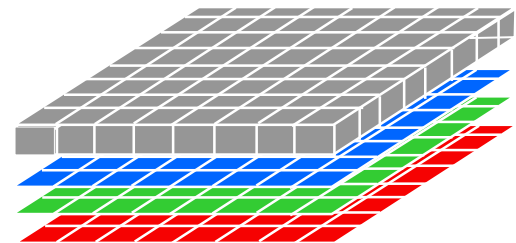
Struttura dei dati acquisiti

- La scansione dell'oggetto viene eseguita per step discreti $\Delta\alpha$ e $\Delta\theta$
- Le distanze corrispondenti a ciascuna posizione (α e θ) vengono memorizzati in una matrice
- Analogamente, per ciascuna posizione viene archiviata anche l'intensità del segnale di ritorno allo scanner



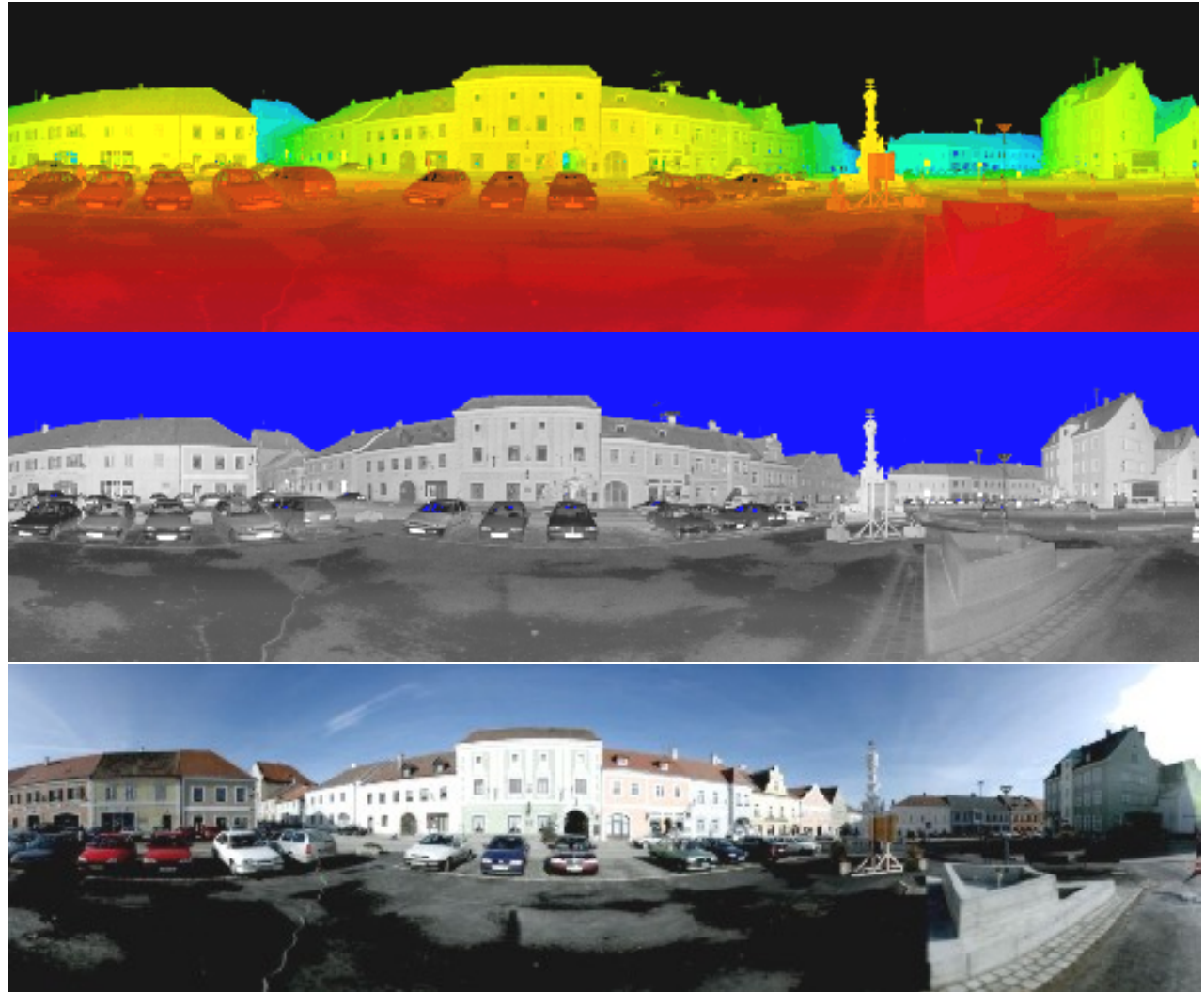
Acquisizione contemporanea di immagini

- Su alcuni modelli di laser scanner è possibile installare una camera digitale opportunamente calibrata
- E' possibile associare alle matrici delle distanze e dell'intensità 3 nuove matrici contenenti i canali RGB che permette di dare un colore a ciascun pixel
- Questa ulteriore informazione permetterà poi di "colorare" i pixel dell'oggetto 3D acquisito, ottenendo delle visualizzazioni foto-realistiche



Esempio di dati acquisiti

- Immagine di distanza (falso colore)
- Immagine di
- Immagine fotografica



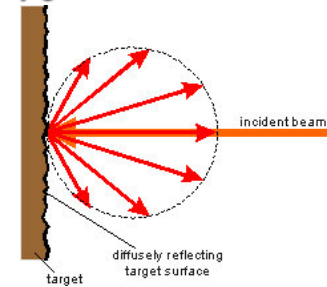
Riflettività degli oggetti

• Materiali opachi

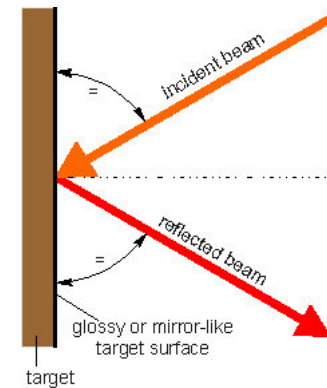
- Foglio bianco di carta fino al 100%
- Neve 80-90%
- Pietra bianca 85%
- Giornale 69%
- Sabbia (deserto) 50%
- Cemento liscio 24%
- Asfalto 17%

• Materiali riflettenti

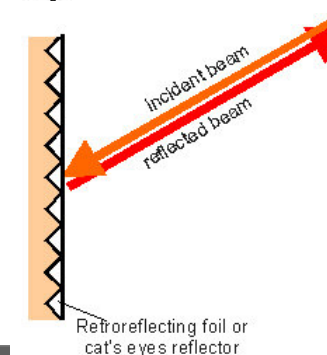
- Foglio riflettente (3M) 1250%
- Plastica opaca bianca 110%
- Plastica opaca nera 17%



Riflessione diffusa (Lambert)



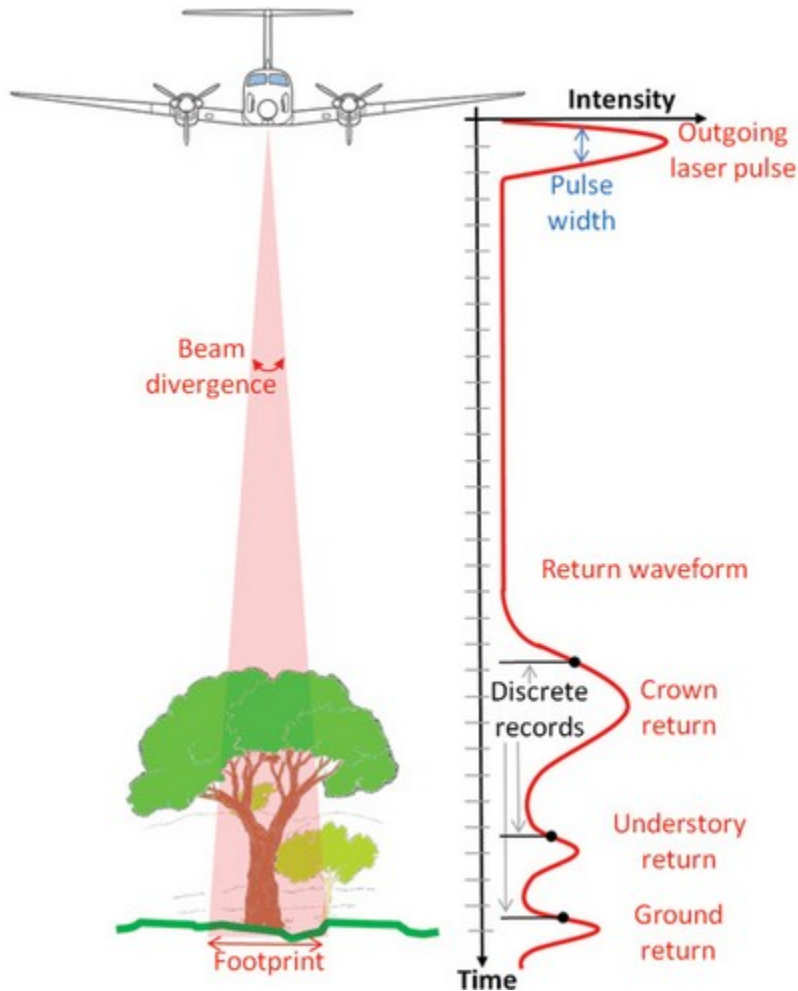
Riflessione a specchio



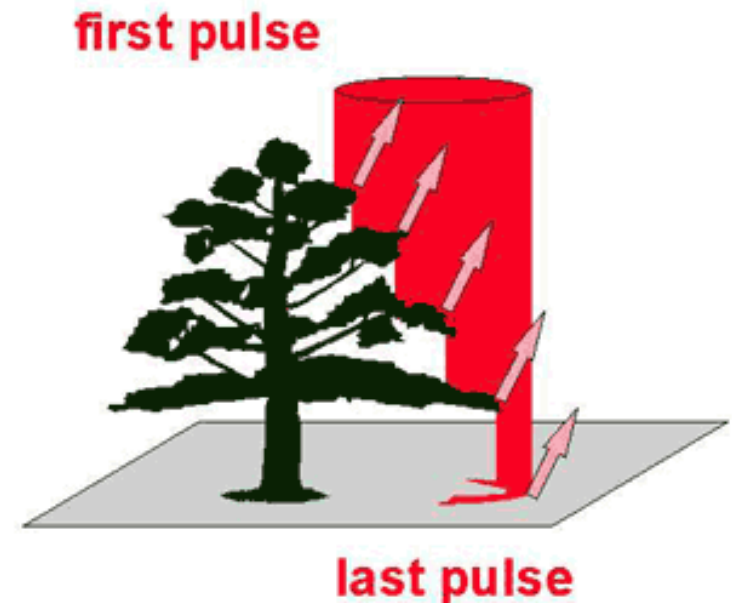
Retro-riflessione



SEGNALE DI RITORNO DEL LASER



Alcuni strumenti sono in grado di registrare il tempo di volo del primo (first pulse) e dell'ultimo (last pulse) impulso in ritorno. Altri sono in grado di registrare l'intera forma d'onda.



Strutturazione di un rilievo

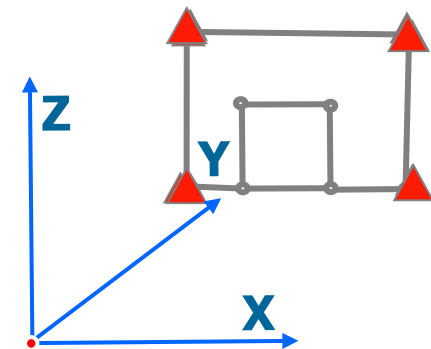
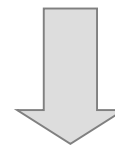
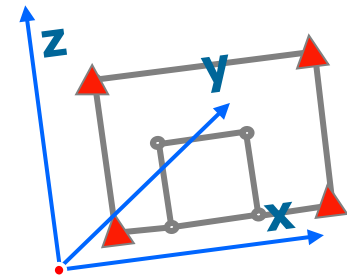
- Se l'oggetto è sufficientemente piccolo da essere compreso nel campo di acquisizione dello strumento, è sufficiente un'unica scansione
- Il modello acquisito è inquadrato nel sistema di riferimento strumentale
- Se è necessario georeferenziare il modello in un SdR esterno, occorre includere alcuni punti d'appoggio (GCP), di coordinate note



Georeferenziazione di un singolo modello

- Vuol dire determinare
 - 3 traslazioni
 - 3 angoli di rotazione nello spazio (matrice di rotazione 3x3)
- Il calcolo viene eseguito utilizzando almeno 3 GCP:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \mathbf{R}(\Omega, \Phi, K) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$



Rilievi di oggetti di grandi dimensioni

- Se l'oggetto è di dimensioni tali da non poter essere più ripreso in una singola scansione, è necessario eseguire una serie di acquisizioni (**blocco di scansioni**)
- Poiché ciascuna scansione è riferita nel SdR strumentale, esse devono essere registrate nello stesso SdR
- Due casi:
 - Non è necessario inquadrare il rilievo in un SdR esterno, ma è sufficiente co-registrare i modelli
 - E' necessario inquadrare il rilievo in un SdR esterno (serve un numero sufficiente di GCP)



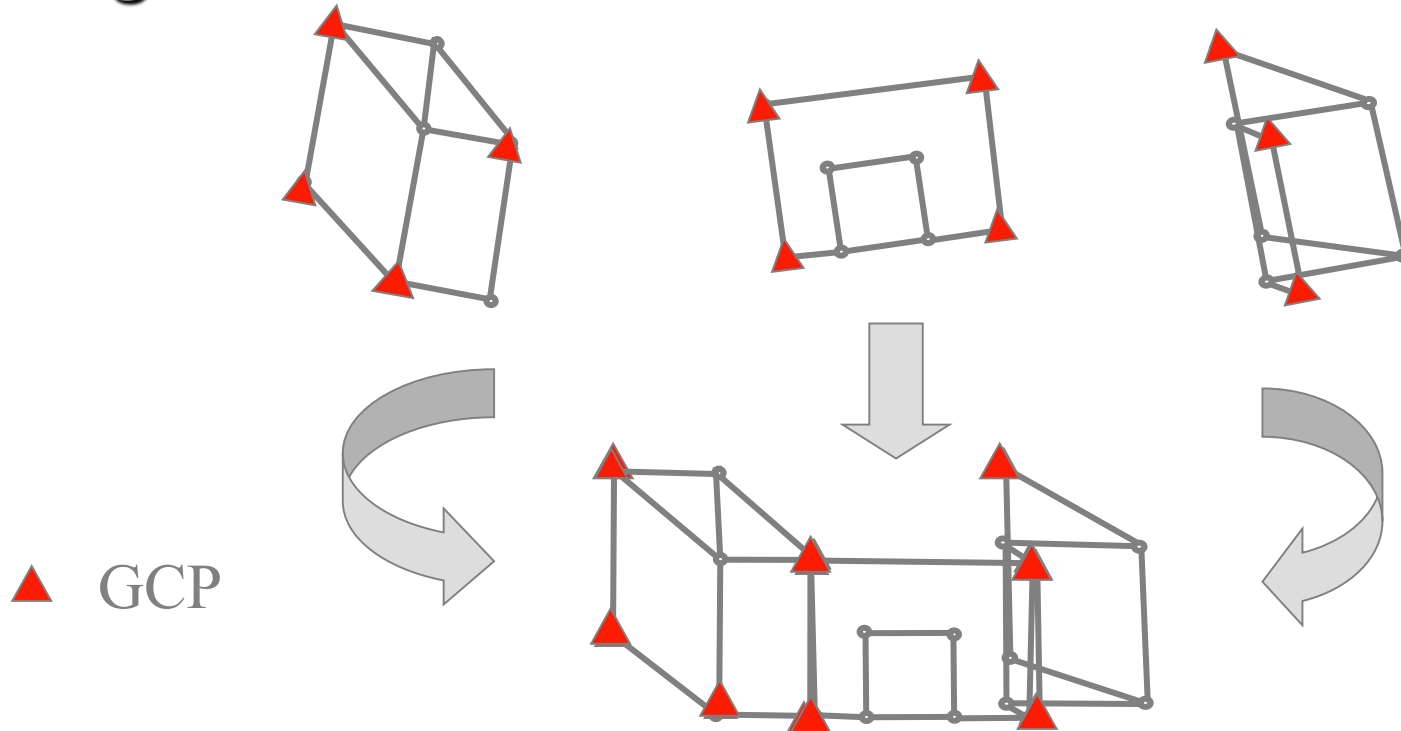
Co-registrazione di modelli

- Vuol dire considerare il SdR proprio di un modello come riferimento e registrare gli altri su di esso (chiamata anche *allineamento*)
- Si tratta di calcolare i parametri della trasformazione:
$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{X_{12}} \\ T_{Y_{12}} \\ T_{Z_{12}} \end{bmatrix} + \mathbf{R}(\Omega_{12}, \Phi_{12}, K_{12}) \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix}$$
- Due modalità per determinare la trasformazione:
 - Metodi di *matching* di superfici (ad esempio ICP)
 - Utilizzo di punti di legame (almeno 3) misurati su entrambi i modelli da co-registrare



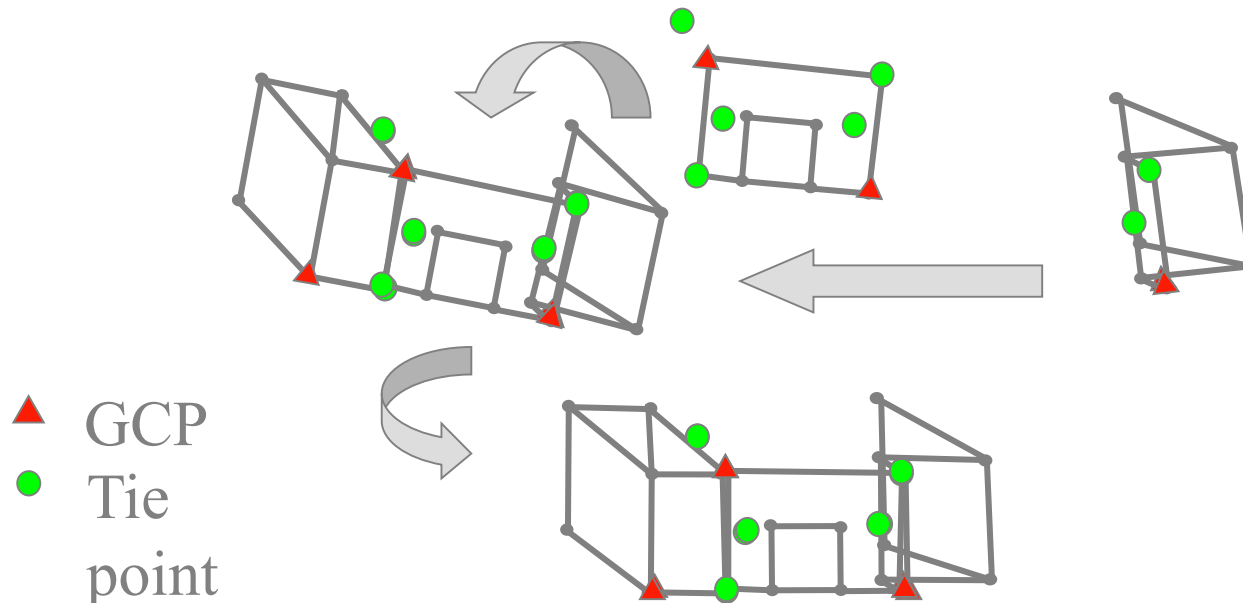
Georeferenziazione di più modelli (1)

- E' ovviamente possibile, disponendo di un numero di GCP sufficiente, registrare ogni singolo modello nel SdR esterno



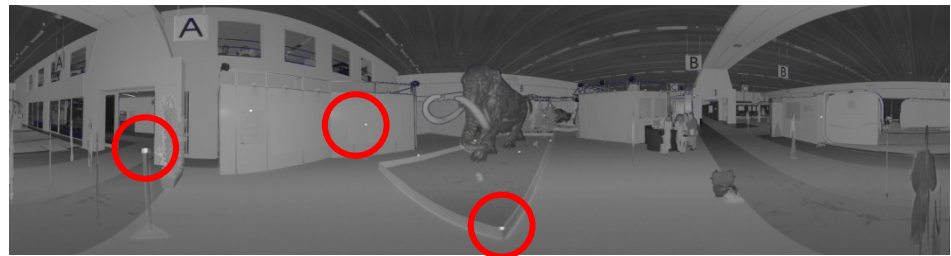
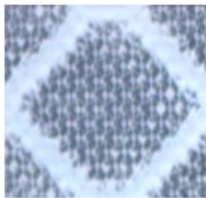
Georeferenziazione di più modelli (2)

- Se si dispone di un numero limitato di GCP, è possibile in sequenza:
 - Co-registrare tra loro i singoli modelli
 - Utilizzando punti di controllo
 - Adottando metodi di matching tra superfici
 - Georeferenziare il blocco utilizzando i GCP disponibili



Esempio di GCP

- Solitamente i GCP vengono materializzati da *target* (o *marker*), costituiti da materiale riflettente che risalta nelle scansioni
- Le coordinate dei target nel SdR esterno vengono determinate mediante metodi topografici:
 - In close-range: stazione totale (angoli e distanze)
 - All'esterno anche con GPS



Rilievo di ghiacciai in Nepal

- Mediante uno strumento *laser-scanning* sono state rilevate le superfici di due ghiacciai in Nepal
 - Lobuche Glacier
 - Everest Ice Fall (foto)



Strumentazione impiegata

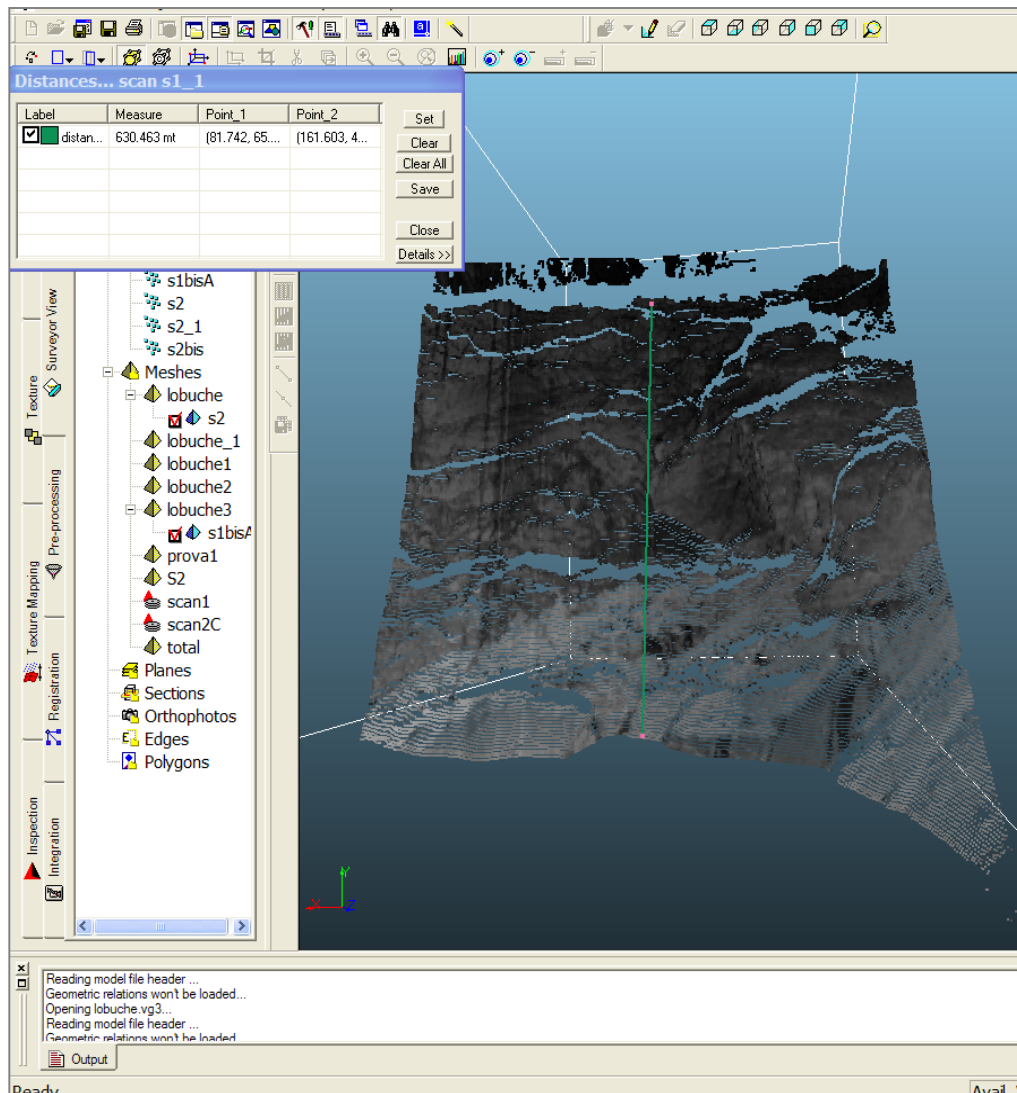
- Strumento impiegato:
 - Scanner Riegl LPM 2k
- GCP:
 - 4-5, materializzati mediante dischi in materiale riflettente
 - Misura della posizione dei GCP mediante GPS



CREAZIONE DEL MODELLO 3D

■ Ghiacciaio del Lobuche

- Scansioni eseguite: 9
- #GCP: 5
- Le scansioni sono state registrate tra loro in modo da definire il modello solido
- Contemporaneamente ai dati laser scanning sono state acquisite immagini digitali della superficie ripresa per realizzare ortofoto



VALUTAZIONE DI AREE E VOLUMI

■ Grazie ai dati acquisiti è possibile eseguire delle valutazioni di aree e volumi rispetto alla superficie del ghiacciaio

■ Eseguendo scansioni in epoche successive è possibile valutare l'ablazione o i movimenti della superficie stessa

