

I sistemi Laser Scanning aerei

I sistemi laser a scansione

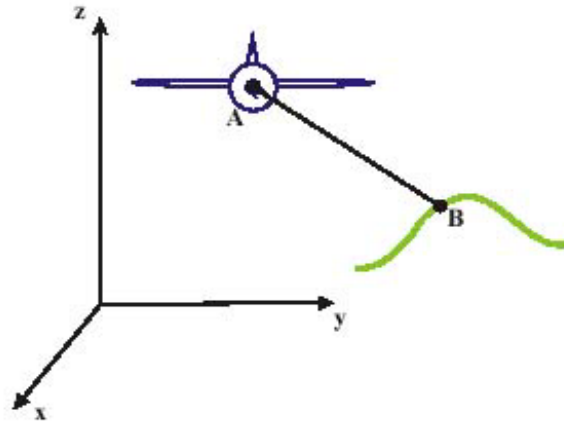
Il principio teorico che sta alla base del loro funzionamento si basa sostanzialmente sulla *determinazione delle coordinate tridimensionali di punti sparsi per mezzo della misura della distanza tra il sensore e il punto colpito da un raggio laser*

Si distinguono in

- sistemi aviotrasportati
- sistemi terrestri

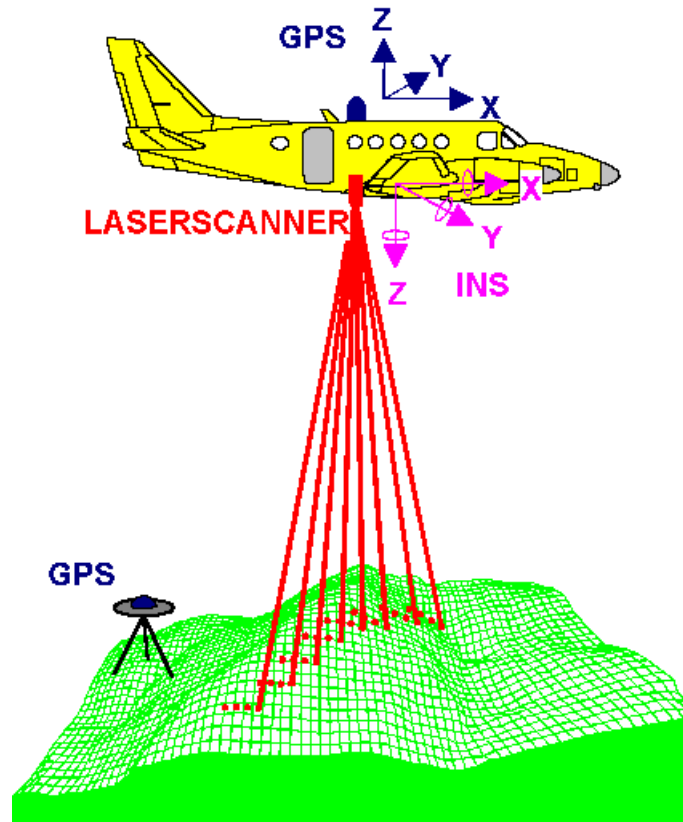
Anche se il principio teorico che applicano i due sistemi è lo stesso le loro caratteristiche tecniche, le procedure di acquisizione, gli obiettivi delle scansioni sono però notevolmente differenti.

Il laser a scansione aviotrasportato È costituito da un sensore laser, montato su un aereo o su un elicottero, che consente di determinare la distanza dal terreno in funzione del tempo impiegato da un raggio laser a percorrere il tragitto di andata e ritorno



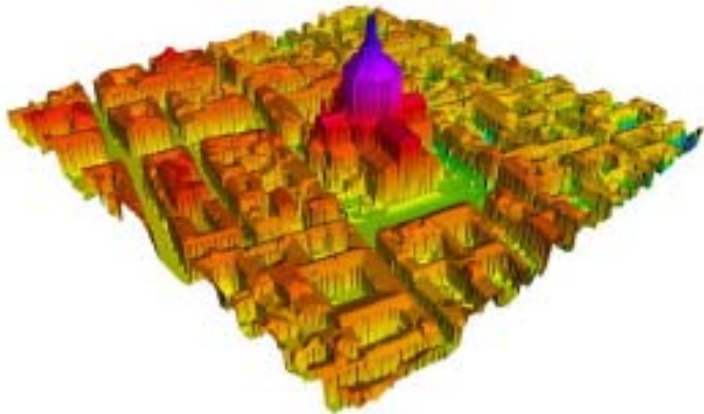
Le coordinate del punto B vengono determinate in funzione della distanza AB e della conoscenza della posizione del punto A (centro del sensore laser)

La conoscenza della posizione e dell'assetto dell'aereo in ogni istante, ottenuta da un sistema integrato *GPS-INS*, permette di determinare la posizione sul terreno dei punti che hanno riflesso il raggio.



Il risultato della scansione è un insieme di punti sparsi (di densità pari a 5-10 punti/m²). L'interpolazione di questi punti secondo maglie regolari consente di determinare il *DSM* (*Digital Surface Model*) della zona sorvolata.

Con il termine DSM viene generalmente indicata la descrizione morfologica del terreno comprensiva di tutti gli oggetti presenti (edifici, vegetazione, etc.); il DSM si differenzia pertanto dal DTM che invece indica l'andamento altimetrico della sola superficie del terreno



La possibilità di generare in tempi brevi e in modo completamente automatico modelli digitali ad elevata densità è un procedimento che risulta particolarmente utile in numerose applicazioni topografiche, quali ad esempio:

- utilizzo del DTM per la generazione di ortofoto digitali;
- possibilità di realizzare modelli 3D soprattutto in zone urbane;
- disponibilità di dati per il controllo del territorio anche in situazioni di rischio.

La fase di presa

La presa dei dati è realizzata da un sistema costituito da vari pezzi che possono essere facilmente montati anche su aerei predisposti per le riprese fotogrammetriche.

Se l'aereo è provvisto di una doppia botola è possibile eseguire, contemporaneamente alla ripresa laser, anche la ripresa fotogrammetrica.



Sistema Toposys

I sistemi laser possono essere anche agganciati sotto un elicottero; in questo caso sono inseriti in appositi contenitori denominati POD.



Sistema TopoEye

La scelta del sistema dipende dal tipo di lavoro e dalle caratteristiche della zona da rilevare.

Spesso è presente anche una telecamera che esegue la ripresa della zona sorvolata.

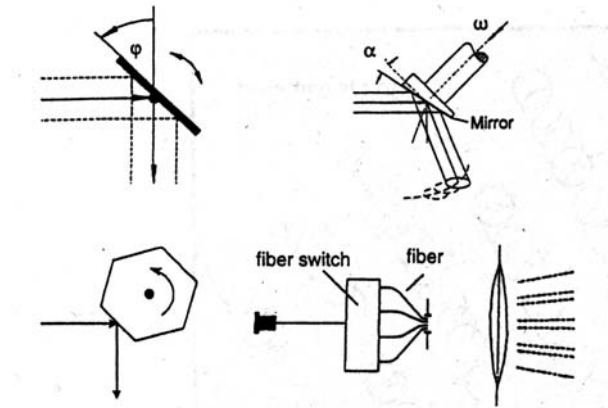
Principio di funzionamento del sensore laser si basa sulla misura del tempo impiegato da un raggio laser a percorrere la distanza di A/R tra il sensore e l'oggetto.

La scansione del terreno è il risultato della combinazione del movimento dell'aereo con la deflessione del raggio laser nella direzione ortogonale alla rotta.

La deflessione del raggio può essere ottenuta con vari sistemi che danno luogo a differenti distribuzioni di punti sul terreno.

Le modalità principali sono due:

- i sistemi ad ottica mobile;
- i sistemi a duplicazione dei cammini ottici.

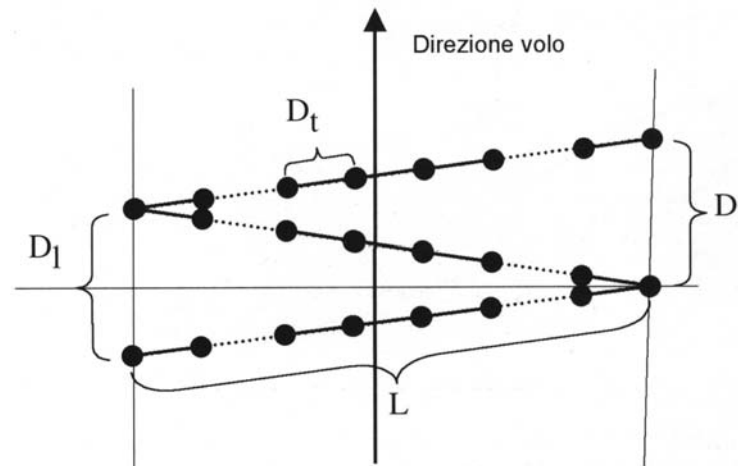


Sistemi ad ottica mobile

Sono sistemi che deviano il raggio laser per mezzo di specchi oscillanti o rotanti.

Sono particolarmente flessibili ed adattabili alle varie condizioni di presa perché consentono, di modificare facilmente molti parametri di funzionamento (l'apertura angolare della scansione e il numero di punti che la compongono).

Presentano però l'inconveniente di una distribuzione irregolare della traccia della scansione sul terreno (per es. a forma di Z) e un movimento dell'apparato di scansione condizionato dalle accelerazioni dell'aeromobile.

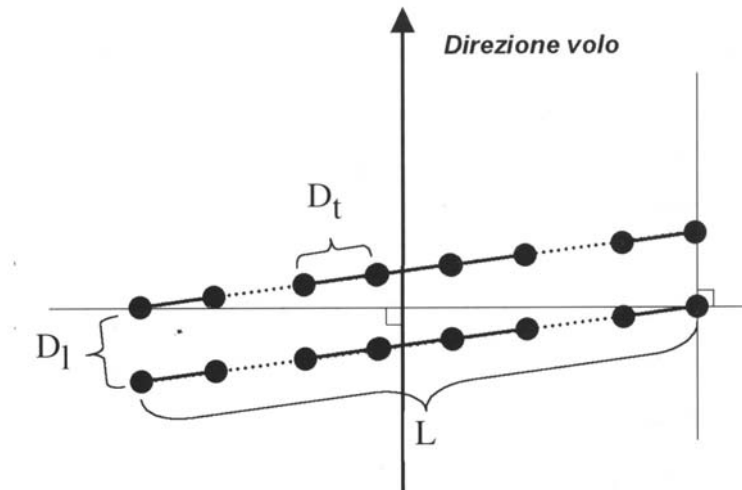


Sistemi a duplicazione dei cammini ottici

Si basa sulla divisione di un raggio laser attraverso il suo passaggio da un certo numero di fibre ottiche.

La traccia che si ottiene sul terreno è molto regolare ed è rappresentata da un insieme di linee parallele leggermente inclinate rispetto alla direzione di volo.

Il principale inconveniente, in questo caso, è dovuto alla scarsa flessibilità del sistema in quanto la geometria di presa è fissa e l'unico parametro che è possibile variare è la quota di volo.



I sistemi attualmente esistenti fanno uso di segnali nell'infrarosso vicino, con lunghezze d'onda comprese tra 800 e 1600 *nm*, che hanno la proprietà di non essere assorbite dal terreno ma anzi riflesse.

Tali lunghezze d'onda vengono anche riflesse dalla vegetazione e dalle nubi; per quest'ultimo motivo il loro impiego è fortemente limitato in presenza di coperture nuvolose.

Possono però operare indifferentemente nelle ore diurne e notturne e non sono influenzati dalla presenza di zone d'ombra.

L'impiego dei raggi laser, in questi sistemi, è dovuto alla loro bassa divergenza che li rende assimilabili al concetto geometrico di linee.

Il segnale laser è infatti quasi monocromatico e la sua divergenza è bassa, anche se non trascurabile: varia in genere fra 0.3 e 4 *mrad*.

Se consideriamo la divergenza pari a 1 *mrad* e una quota di volo di $h=1000$ m, l'impronta a terra D è

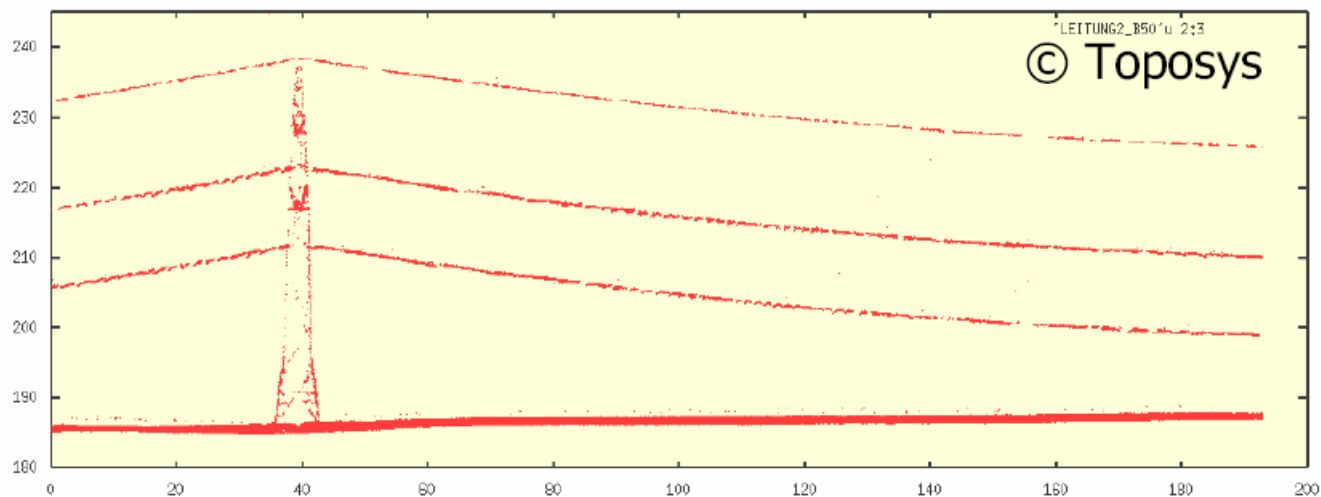
$$D = 0.001 \text{ rad} \times 1000 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

L'impronta a terra del raggio risulta in genere compresa in un diametro tra 30 cm e 1.5 m.

L'estensione dell'impronta a terra risulta però molto importante per sfruttare alcune caratteristiche dei sistemi laser scanning:

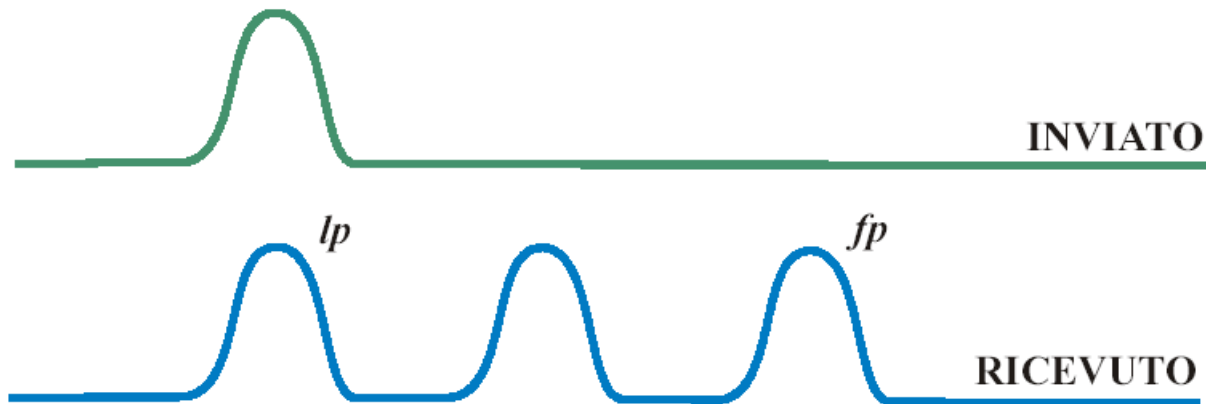
- Individuare cavi sospesi e piccoli particolari;
- Sfruttare piccoli varchi nella vegetazione per raggiungere il suolo;
- Registrare riflessioni multiple.

Quando un raggio laser incontra un ostacolo, come le chiome di un albero o i cavi dell'alta tensione, una parte del segnale viene riflessa e la rimanente prosegue fino ad incontrare il terreno o un qualsiasi altro oggetto per essere riflessa totalmente.



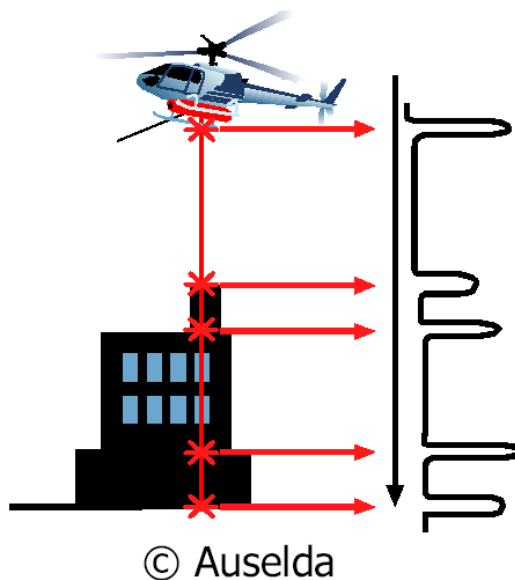
Le riflessioni multiple di uno stesso raggio (possono infatti essere anche più di una) arrivano al ricevitore in tempi differenti e possono quindi essere discriminate.

Esistono infatti sensori che sono capaci di memorizzare fino a quattro riflessioni multiple diverse; la situazione più comune è comunque data dai sensori che registrano la prima riflessione (*first pulse*) e l'ultima (*last pulse*) sia durante la stessa ripresa che con riprese differenti.



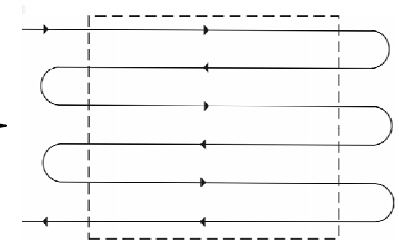
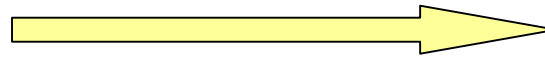
La gestione delle riflessioni multiple è possibile in quanto i sistemi laser a scansione sono progettati in modo che sia rispettata la condizione di non ambiguità:

prima che un raggio laser venga emesso è necessario che tutte le riflessioni (dette anche echi) del raggio precedente siano tornate al sensore.



Caratteristiche del volo

Lo schema delle strisciate è simile a quello delle riprese fotogrammetriche



La larghezza delle strisciate è funzione dell'angolo di campo del sensore e della quota di volo.

- l'angolo di campo è variabile a secondo dei differenti strumenti ed è in genere compreso tra $\pm 7^\circ$ e $\pm 30^\circ$;

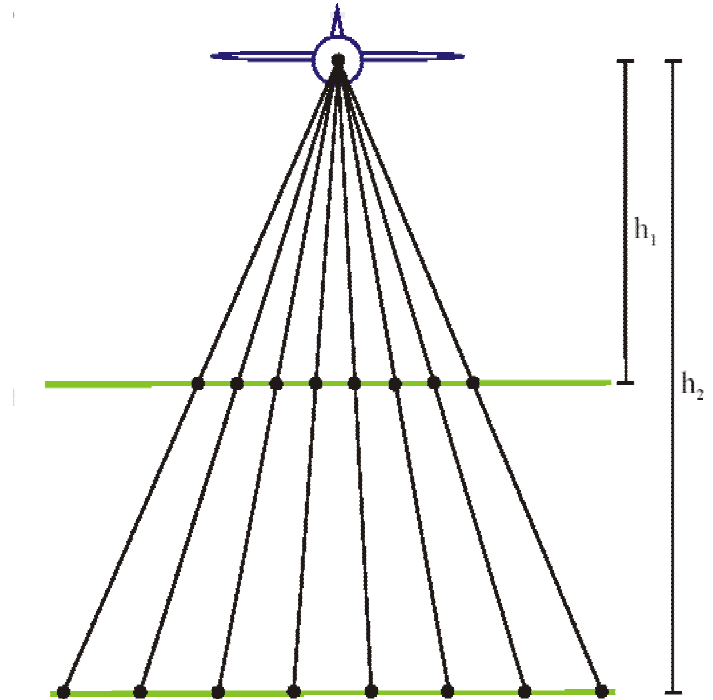
- la quota di volo varia in funzione del tipo di mezzo impiegato (aereo o elicottero) ed è messa in relazione alla frequenza del segnale per quanto riguarda i suoi valori massimi.

affinché sia rispettata la condizione di non ambiguità, il tempo di andata e ritorno (t) deve essere minore del periodo (T) del raggio laser. Da ciò si ricava che la quota di volo (h) deve essere sempre minore della velocità della luce nel vuoto (c) diviso due volte la frequenza (f):

$$h < \frac{c}{2f}$$

L'aumento della quota di volo comporta i seguenti pro e contro:

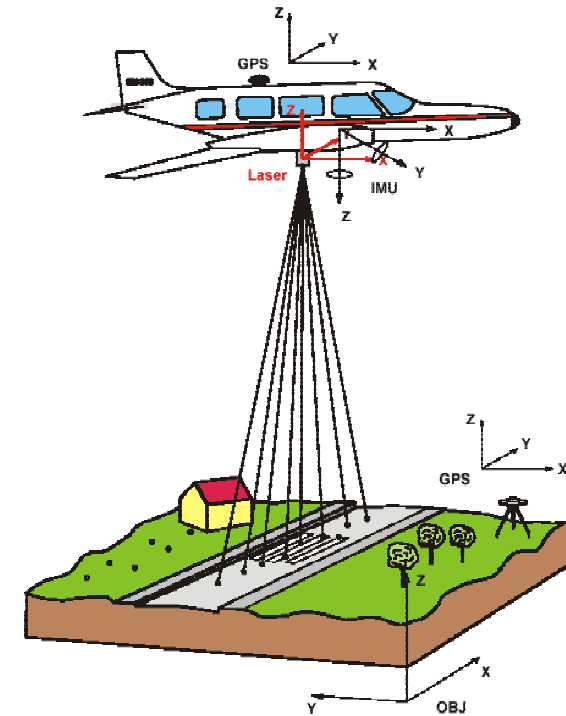
- Aumento della produttività
- Diminuzione delle occlusioni
- Diminuzione della densità dei punti
- Diminuzione della precisione
- Diminuzione della frequenza massima di emissione



Determinazione delle coordinate dei punti

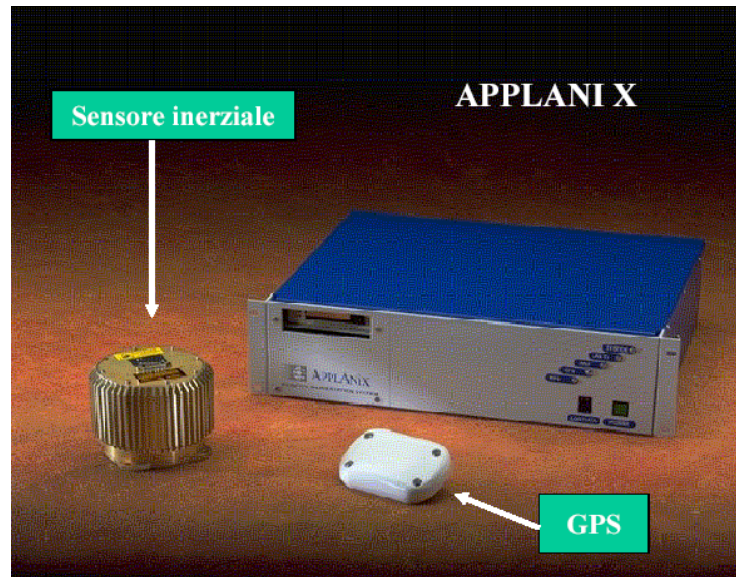
Lo scanner laser determina solo il vettore dal centro del sensore al punto a terra in un sistema di riferimento relativo alla strumento.

E' necessario riportare le coordinate dei punti in un sistema di riferimento assoluto.



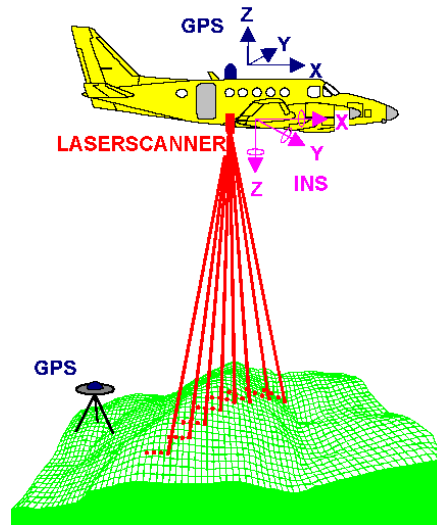
Questa operazione è possibile grazie alla misura contemporaneamente alla scansione della posizione e dell'orientamento del sensore rispetto ad un sistema di riferimento assoluto.

Il sistema laser è infatti integrato da un sistema di posizionamento e orientamento (POS - *Position Orientation System*) costituito da un GPS e da un sistema inerziale INS (*Inertial Navigation System*).



La corretta sincronizzazione tra le misure laser e le misure GPS e inerziali consente, conoscendo l'angolo formato dal raggio con la verticale del mezzo e misurando la distanza fra il mezzo stesso e il punto riflettente, il calcolo delle coordinate del punto nel sistema WGS84.

Il GPS viene usato in modalità cinematica post-processata, ed è quindi necessaria la presenza di un secondo ricevitore a terra su un punto di coordinate note.



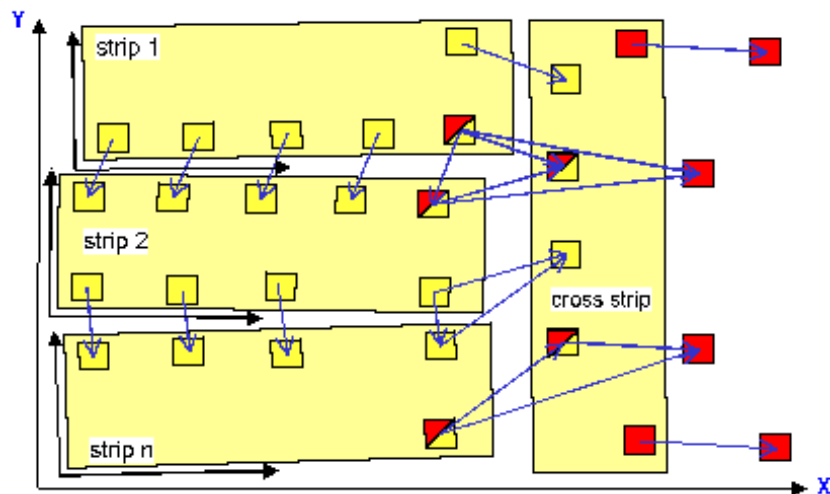
Calibrazione del sistema

Preliminarmente all'esecuzione delle riprese viene eseguita la calibrazione del sistema per determinare i parametri dell'orientamento relativo dei vari strumenti installati (laser a scansione, GPS, INS).

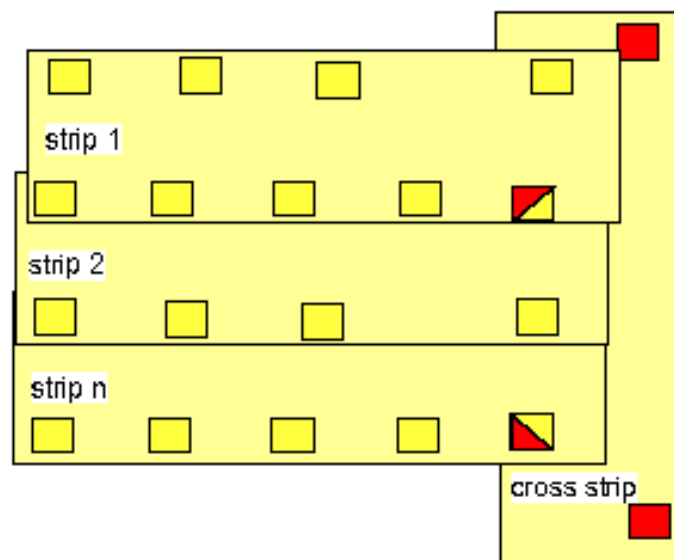
I parametri di calibrazione sono ottenuti in genere da rilievi laser su zone campione in cui sono presenti oggetti e particolari ben riconoscibili; l'esecuzione di più strisciate con differenti direzioni e il successivo posizionamento e orientamento relativo delle strisciate stesse, rispetto ai punti ben individuabili, consente di determinare i parametri di calibrazione del sistema.

In realtà non esiste una procedura standard per tutti i sistemi, ma ogni ditta ha sviluppato le metodologie più idonee per il loro particolare sistema.

Strisciate prima della calibrazione



Strisciate dopo la calibrazione



Elaborazione dei dati

Le procedure di elaborazione dei dati ottenuti dalle scansioni prevedono in genere la conversione dei punti sparsi (*raw data*) nel sistema WGS84 e la mosaicatura delle strisciate.

In alcuni casi viene anche fornito un grigliato regolare (per esempio di 1 m x 1 m) riferito al sistema di riferimento nazionale.

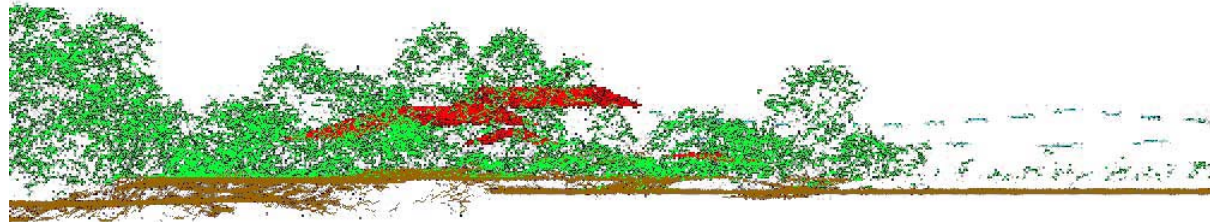
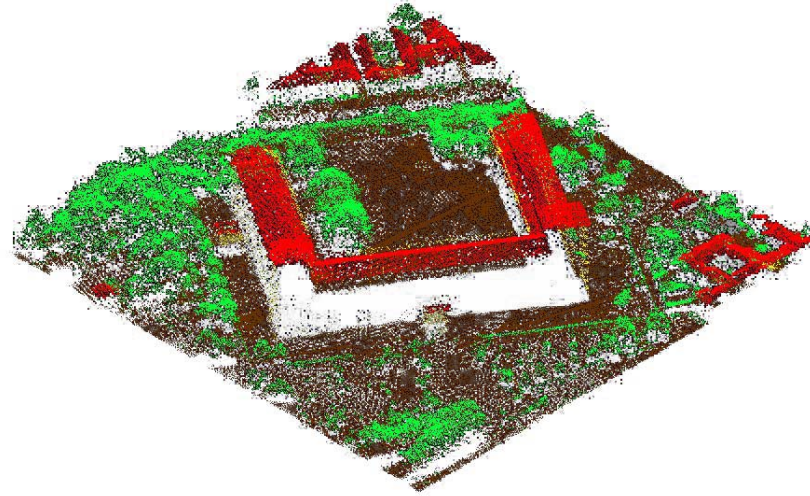
La quantità di dati che viene generata da una scansione laser è in molti casi particolarmente elevata.

Per densità di campionamento di 5÷10 punti/m² il sistema misura da 50.000 a 100.000 punti/ha.

Questo comporta la difficoltà nella gestione dei dati con software commerciali non dedicati.

Esempi

Visualizzazione dati raw



Visualizzazione dati grid

