

Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

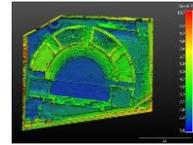
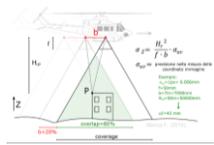
- dal micro al macro -

Erica Nocerino, Fabio Remondino

Fondazione Bruno Kessler
3D Optical Metrology unit
Trento, Italia

Web: <http://3dom.fbk.eu>

Email: <nocerino><remondino>@fbk.eu



Trento, 27 ottobre 2016

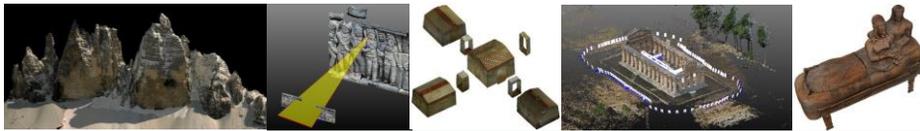


- Nata nel 1962 come centro di ricerca pubblico della Provincia Autonoma di Trento
- Principali ambiti di ricerca: ICT, materiali e sensori, umanistico
- Più' di 350 ricercatori e sviluppatori, 7 laboratori, 26 unità' di ricerca, 11 spin-off
- Unità' di ricerca e laboratori: bio-sensori, bioelettronica, sensori ottici, energie rinnovabili, modelli predittivi, tecnologie per la visione, metrologia ottica 3D, etc.
- Ospita student universitari, di master e di dottorato
- Programmi di master e di dottorato in cooperazione con università' locali e internazionali





- **3DOM = 3D Optical Metrology** (<http://3dom.fbk.eu>)
- Applicazioni nell'ambito della geomatica
- Rilievi sul campo, elaborazione dati e sviluppo di soluzioni innovative
- Trasferimento tecnologico
- Organizzazione di convegni scientifici, scuole e workshop
- Collaborazioni con enti e aziende italiane e straniere

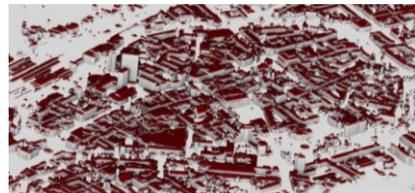


Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

3



- Introduzione e motivazioni
- Il rilievo, la rappresentazione e la modellazione
- Metodi e tecniche di rilievo:
 - La topografia
 - Il Sistema GNSS
 - La fotogrammetria
 - Il laser scanner



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

4


PERCHE' RILIEVO & MODELLOZIONE 3D

❑ Beni Culturali / Cultural heritage:

- Monumenti / siti / oggetti a rischio
- Documentazione
- Conservazione digitale
- Restauro (digitale)



Pompei (Italia): molti turisti, rischio collassi, etc.



Machu Picchu (Peru): molti turisti, rischio valanghe, etc.

Bamyan (Afghanistan): distruzione dei Buddha, 2001



Globo di Behaim (Germania), 1492: rischio deterioramento, non accessibilita', restauro, etc.

Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

5


PERCHE' RILIEVO & MODELLOZIONE 3D

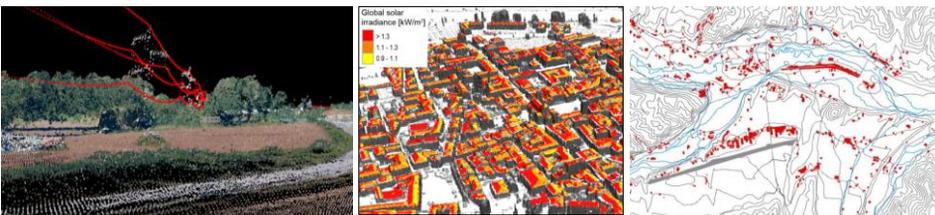
❑ Gestione efficiente dell'energie e delle risorse:

- Stima del potenziale fotovoltaico dei tetti
- Individuazione delle zone critiche lungo le linee dell'alta tensione
- Dispersioni termiche degli edifici



❑ Governance & Amministrazione pubblica:

- Mappe ed aggiornamento cartografico
- Identificazione degli "edifici nascosti"
- GIS / BIM
- Calcolo dell'altezza degli edifici
- [Pianificazione territoriale](#)

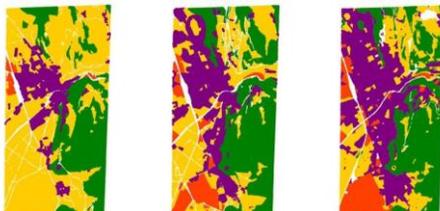


Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

6

□ Monitoraggio strutturale e ambientale:

- Analisi del rischio
- Calcolo delle biomasse
- Change detection
- Analisi delle deformazioni
- Valutazione metrica di danni naturali



#Area Vegetata/Boschiva #Area Agricola/Verde Urbano #Area Industriale/Commerciale #Area Edificata/Urbana



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

7

Con il termine **rilevamento** (o rilievo) s'intende l'insieme complesso delle indagini e operazioni volte a determinare e rappresentare un fenomeno.

Con il rilievo possiamo quindi misurare la forma di un singolo oggetto/manufatto o di un entità più estesa (insieme urbano), ovvero individuarne le qualità significative di sotto l'aspetto morfologico, dimensionale, figurativo e tecnologico.

Il fine del rilievo può essere una copia digitale e/o un modello tridimensionale (3D), spesso semplificato rispetto alla realtà, attraverso il quale si potrà documentare e analizzare l'opera agevolando l'interpretazione delle sue fasi di costruzione o trasformazione e dei suoi connotati.

Il rilevamento è pertanto un processo che deve portare alla conoscenza profonda dell'opera in esame per **metterne in evidenza tutti i suoi valori**: geometrici, dimensionali, figurativi, strutturali, dei materiali impiegati, delle tecniche costruttive, delle condizioni di degrado, delle relazioni con il contesto urbano, etc.

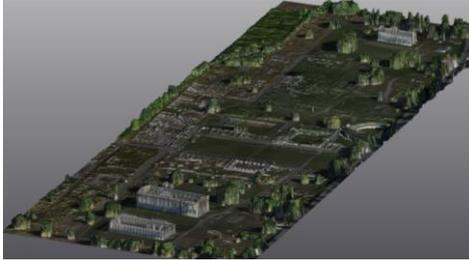
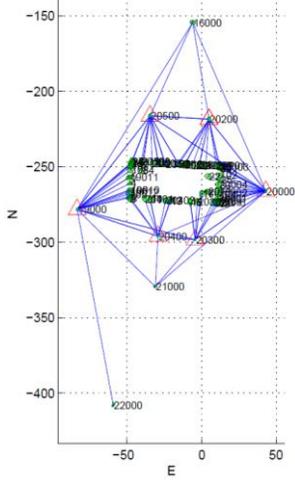
Con rilievo geometrico si intende il rilievo della forma e delle geometrie di un oggetto / manufatto / artefatto / monumento / sito / città / territorio

Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

8


IL RILIEVO 3D - esempio

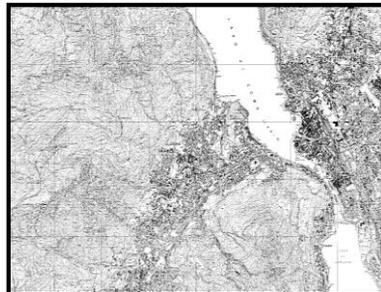
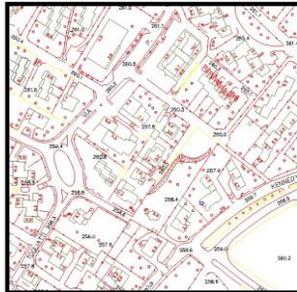
Network graph of NETTUNO_2015_ok_adj.txt: Ellipses relative scale: 1/1000



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

9


IL RILIEVO 3D - esempio



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

10

Il rilievo pertanto puo' essere inteso come un

percorso di ricerca volto alla conoscenza dell'architettura, della città o del territorio

e come tutte le ricerche

- deve essere preceduto da un progetto di rilevamento, che include
 - pianificazione delle azioni da compiere, considerando richieste e vincoli
 - verifiche in itinere
 - verifiche dei risultati finali.

A tale scopo il prodotto del rilevamento è costituito:

- dalle restituzioni grafiche e dalle altre documentazioni (fotografiche, d'archivio, ecc.),
- da tutte le operazioni condotte per raggiungere tale risultato.

Infatti, come ogni altra operazione di ricerca, un progetto di rilievo ha bisogno di poter essere ripercorso al fine di verificarne l'attendibilità e la qualità del prodotto.



In un progetto di rilievo indiretto - con strumentazione topografica, fotografica o laser scanner - non consideriamo solo le operazioni di misura di un oggetto / monumento ma tutto il processo che va dalla pianificazione, misura vera e propria in "campagna" fino alla rappresentazione finale, considerando quindi tutta la complessa fase di elaborazione dei dati acquisiti.

Il **progetto di rilievo** deve tenere conto:

- delle finalità del rilievo stesso
- del tipo di rappresentazione dell'oggetto / manufatto
- delle caratteristiche che ha l'oggetto / manufatto
- metodologia di rilievo piu' idonea (tecniche e strumenti)
- costi
- tempi



2D

Sono rappresentazioni bidimensionali sul piano dell'oggetto o del territorio ("mappa").

Classiche dell'architettura e della cartografia.

Non rappresentano in *toto* l'oggetto nella sua forma generale ma solo un estratto più o meno schematico della struttura rilevata.

Non comunicano la conformazione dello spazio costruito.

Sono un prodotto tecnico.

Sono proiezioni ortogonali della realtà su un piano (prospetto, pianta, sezione).

3D

Sono rappresentazioni 3D approssimate dell'oggetto sul piano.

Comunicano/descrivono l'articolazione spaziale di un edificio.

Sono di solito l'assonometria e la prospettiva.

Sono un prodotto di geometria descrittiva.

Modello 3D: È una rappresentazione tridimensionale informatica semplificata di un oggetto o manufatto

2,5 D

Sono rappresentazioni tridimensionali di oggetti nello spazio che non hanno una geometria fortemente 3D (a tutto tondo).
Chiamati anche DSM-DTM
Es. Il terreno

3D

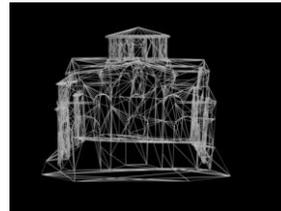
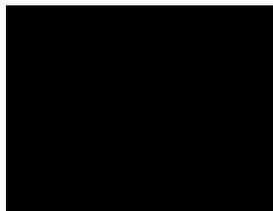
Sono rappresentazioni tridimensionali di oggetti nello spazio che hanno una geometria fortemente 3D (a tutto tondo).
Es. Una statua, una sfera

4D

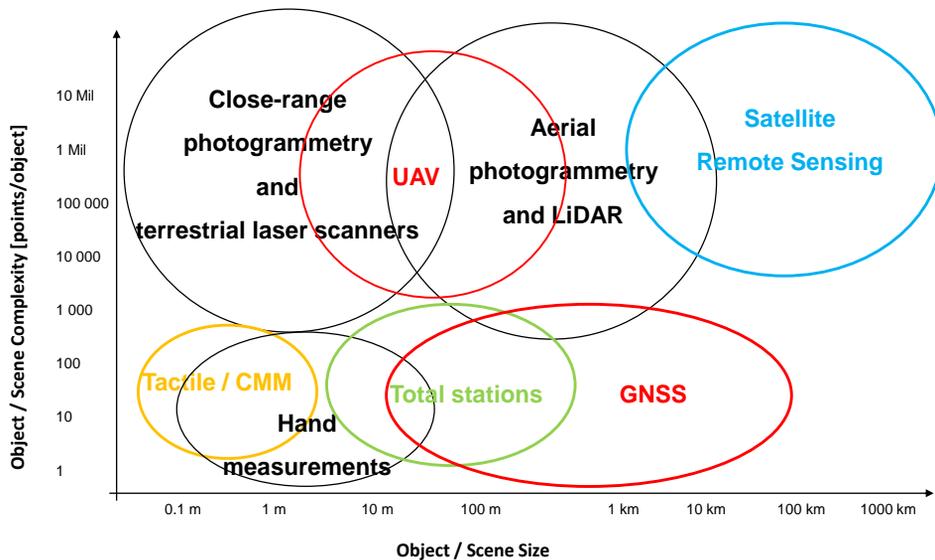
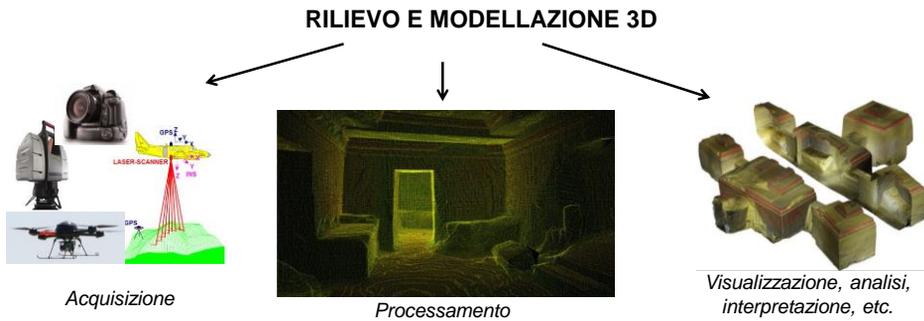
Sono rappresentazioni tridimensionali di oggetti nello spazio in cui è considerata anche la componente tempo
Es. Superficie che di deforma

3D (xyz)

4D = 3D (xyz) + 1D (time)

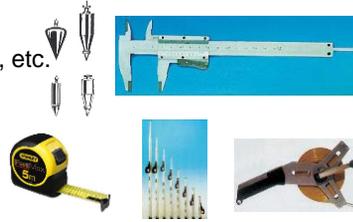


- ❑ **Rilievo:** misura delle coordinate 3D dei punti di un oggetto “*sul campo*” attraverso tecniche quali topografia, fotogrammetria, laser scanning, etc.
- ❑ **Modellazione :** generazione di dati 3D strutturati (mesh, TIN) a partire dai dati rilevati
- ❑ La modellazione 3D puo' essere vista come una catena di procedure e di trasformazioni con diversi gradi di approssimazione e astrazione dei dati acquisiti volta ad ottenere nuovi prodotti



Rilievo longimetrico (diretto)

- Semplici strumenti di misura (metro, filo a piombo, etc.)
- Per contatto
- Piccole aree
- Soggettività
- Aiuta una comprensione dettagliata
- Possibile integrazione con altre procedure
- Tempi lunghi di esecuzione



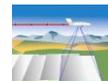
Rilievo con tecniche geomatiche 3D (indiretto)

- Geomatica: insieme delle tecniche digitali di misura della Terra
- Tecniche digitali, oggettive, rapide, 3D, efficace e conveniente
- Si dividono in tecniche attive e passive, a seconda della natura della radiazione luminosa



Tecniche di modellazione basate su dato acquisito al vero

- *Image-based techniques (sensori passivi)*
 - **fotogrammetria**, computer vision, shape from X, etc.
 - nuvole di punti 3D *dense* o *sparse*
- *Range-based techniques (sensori attivi)*
 - **laser scanner**, sistemi a proiezione di frange, radar, etc.
 - Tempo di volo o a triangolazione
 - nuvole di punti 3D *dense*
- Metodi di rilievo classici
 - **GNSS**, stazioni totali, disto, etc.
 - pochi punti 3D con bassa densità, modelli 3D a bassa risoluzione, tempi lunghi di esecuzione
- Modellazione procedurale
- Computer graphics (3DStudioMax, Maya, Sketch-up, etc.)
 - possono essere basati anche su dati non reali/misurati



Il termine TOPOGRAFIA deriva dal greco è composto da topos = **luogo** e graphos = **grafia** è una disciplina che ha per oggetto lo studio:

1. dei metodi,
2. dei procedimenti applicativi,
3. dei modelli di calcolo,
4. delle strumentazioni



finalizzati al rilievo di una porzione limitata della superficie terrestre, sufficientemente piccola da poterne trascurare la sfericità o curvatura - generalmente l'area definita attorno ad un punto con raggio max di 15 Km (campo topografico - per la planimetria), come centri cittadini, siti archeologici, interni di edifici.

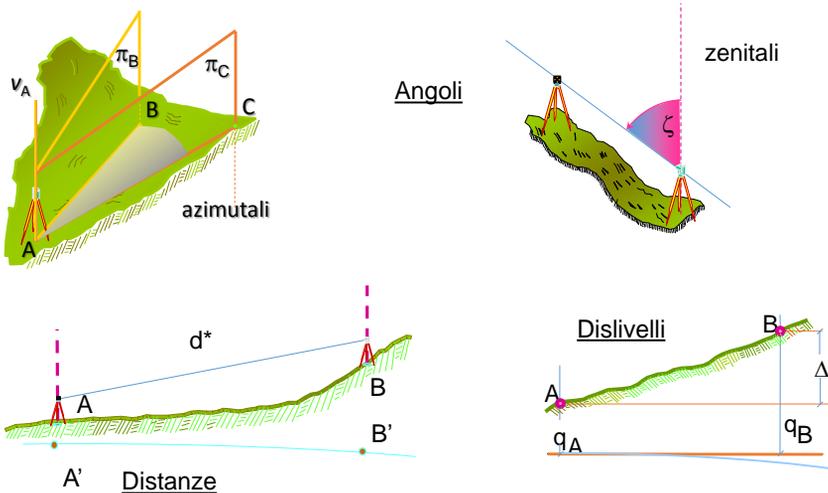
In senso ampio, la topografia è la scienza che si occupa di determinare con precisione la **posizione** di entità sulla superficie terrestre e successivamente di rappresentare tali entità sulla **carta**.

Operazioni tipiche eseguite con la tecnica topografica:

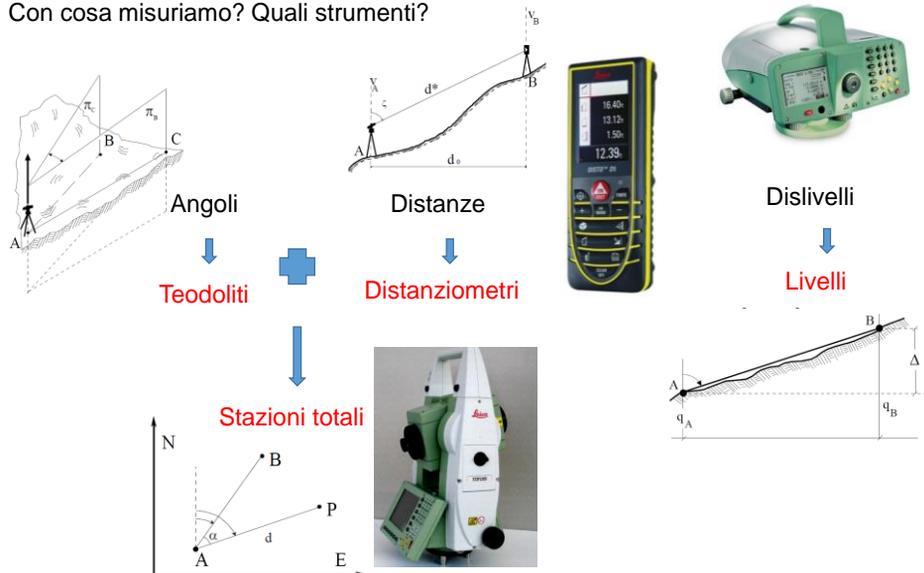
1. Rilevamento
2. Tracciamento

In generale, con la topografia si eseguono **MISURE**.

Si eseguono **MISURE**. Di che cosa? Di angoli, distanze, dislivelli.



Con cosa misuriamo? Quali strumenti?



Punti segnalizzati

Punto di stazione

Network graph of NETTUNO_2015_ok_adj.txt: Ellipses relative scale: 1/1000

Rete dopo la compensazione

Monografie / Edotipi di punti naturali

3DOM 3D OPTICAL METROLOGY GNSS – Global Navigation Satellite System

Sistema di posizionamento globale basato sull'emissione, da parte di una costellazione di **satelliti** in navigazione (ca 20-30000 Km d'altezza), di segnali complessi che permettono di ricavare informazioni relative al tempo e alle distanze tra satellite e ricevitore. Conoscendo la posizione dei satelliti nello spazio, per **trilaterazione** (posizionamento sferico) vengono calcolate le coordinate del punto a terra (ricevitore).

Sistemi di posizionamento **GNSS** esistenti:

- NAVSTAR GPS (USA, 1973) - NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System)
- GLONASS (Russia) - Globalaya Navigatsionnaya Sputnicovaya Sistema
- GALILEO (EU)
- BeiDou (China)
- IRNSS (India) – regional
- QZSS (Japan) – regional



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

23

3DOM 3D OPTICAL METROLOGY GNSS – Global Navigation Satellite System

NAVSTAR GPS

Il sistema funziona con qualsiasi condizione meteorologica ed è globale in quanto ogni punto della terra e' coperto dal servizio in ogni momento.

Il GPS è stato concepito, realizzato e finanziato dal DoD (Department of Defense) degli USA, che si occupa di gestirlo e svilupparlo. Il sistema GPS nasce nel 1973, quando il DoD decide la fusione di due progetti: TIMATION e SISTEM 612B condotti rispettivamente da US Navy e US Air Force.

E' nato per scopi militari ma può essere utilizzato, anche se con qualche limitazione, dagli utenti civili: le sue eccezionali prestazioni hanno causato una vera e propria rivoluzione nelle tecniche di rilevamento topografico e geodetico (es. IGM95).



Permette il rilievo (real time) delle coordinate di punti molto lontani da loro senza che ci sia visibilità tra di essi.

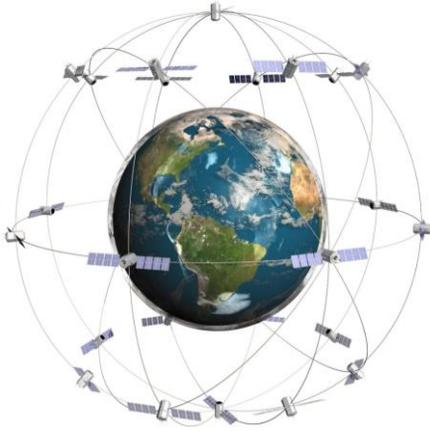
Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

24

Obiettivo di un sistema GNSS è quello di determinare in tempo reale, la posizione di un osservatore rispetto a un sistema di riferimento geocentrico (sistema WGS84, quota misurata come altezza sull'ellissoide).

L'informazione sulla posizione di un punto sulla Terra è ottenibile istante per istante attraverso la costellazione di satelliti in orbita attorno alla Terra.

Appositi strumenti (ricevitori) sono in grado di captare il segnale radio emesso dai satelliti e di determinare la posizione del punto per trilaterazione.



avendo posto:

d^i_j = distanza tra il satellite i e il ricevitore j	MISURATA
X^i, Y^i, Z^i = coordinate dell' i esimo satellite	NOTE (con $i = 1, 2, 3$)
X_j, Y_j, Z_j = coordinate del ricevitore j	INCOGNITE

Il funzionamento di un sistema GNSS si basa sull'interazione di tre segmenti:

1. Segmento spaziale:

- diversi satelliti con orbite disposti su piani orbitali inclinati
- distribuzione dei satelliti tale da garantire la visibilità di almeno 6 satelliti in qualsiasi momento e da qualsiasi parte della Terra
- orologi atomici al cesio / rubidio ad elevata precisione
- invio continuo di un segnale radio che contiene dati di "tempo" e di "posizione", su due diverse frequenze (L1 – civile e L2 – militare e ricevitori top-class civili)

2. Segmento di controllo:

- stazioni di controllo a terra per verificare funzionamento e affidabilità satelliti e dati
- le stazioni ricevono e trasmettono ai satelliti i parametri necessari per la correzione dell'orbita di ciascun satellite (effemeridi) e della costellazione (almanacco)
- distorsione artificiale del segnale per degradare l'accuratezza del posizionamento (usi civili)

3. Segmento utente:

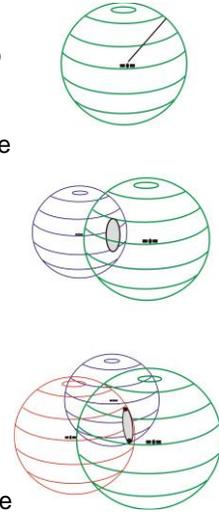
- ricevitori a terra con antenna, microprocessore, orologio, n canali (20-30) e display
- costo in funzione del tipo di antenna, stabilità del clock, memoria, ecc. (100-20.000 Eur)

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO («trilaterazione»)

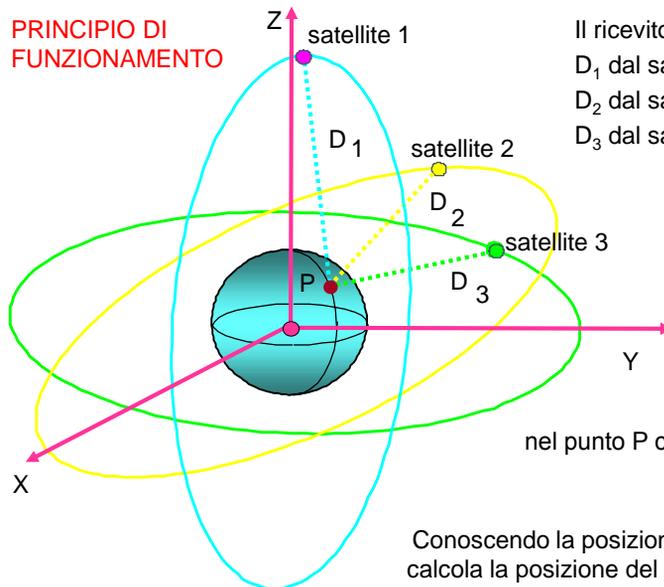
- Satelliti e ricevitori si devono **sincronizzare**, misurando lo stesso tempo
- Dopo la sincronizzazione, si misura il “**tempo di volo**” Δt che il segnale radio impiega a percorrere la distanza satellite-ricevitore
- Nota la velocità della luce ($c = 3 \times 10^8$ km/s), la **distanza** è:

$$D = c \cdot \Delta t$$

- Per ogni satellite visibile al ricevitore, viene calcolata una distanza D . Questa distanza identifica una **sfera di raggio D** attorno a ciascun satellite e il ricevitore pertanto può trovarsi in un punto qualsiasi della sfera
- Se un **secondo satellite** è visibile, il ricevitore può trovarsi in un punto qualsiasi della circonferenza intersezione tra le 2 sfere
- Se conosco **3 distanze** il ricevitore può trovarsi in uno dei due punti ottenuti come intersezione.
- Delle due soluzioni viene considerata quella vicina alla superficie terrestre



PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO



Il ricevitore misura le distanze D :

D_1 dal satellite 1

D_2 dal satellite 2

D_3 dal satellite 3

nel punto P c'è l'antenna del ricevitore

Conoscendo la posizione di almeno **tre satelliti**, si calcola la posizione del punto P su cui è l'antenna

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO – in formule

- Se tutto fosse perfetto e i ricevitori avessero orologi molto precisi:

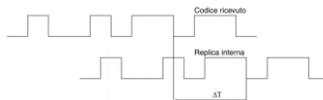
$$D = c \cdot \Delta t = \sqrt{(X_{SAT_i} - X_{RIC})^2 + (Y_{SAT_i} - Y_{RIC})^2 + (Z_{SAT_i} - Z_{RIC})^2}$$

- con 3 misure D posso scrivere un sistema di 3 equazioni in 3 incognite ($X_{RIC}, Y_{RIC}, Z_{RIC}$)
- Poiche' l'orologio nel ricevitore non e' preciso come quelli a bordo dei satelliti, la distanza D non e' precisa e pertanto ottento una misura che viene chiamata PSEUDO-RANGE (PSR):

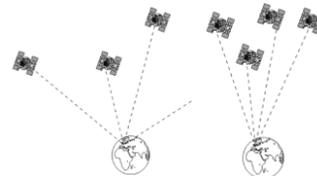
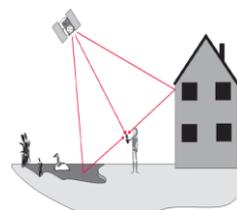
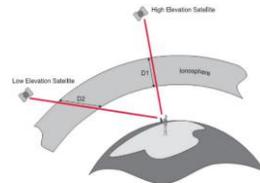
$$PSR = D + c \cdot \Delta t_0$$

$$PSR = D + c \cdot \Delta t_0 = \sqrt{(X_{SAT_i} - X_{RIC})^2 + (Y_{SAT_i} - Y_{RIC})^2 + (Z_{SAT_i} - Z_{RIC})^2} + c \cdot \Delta t_0$$

- Pertanto anche un **quarto satellite** (e quindi una quarta distanza) e' necessaria per risolvere un sistema di 4 incognite (3 posizioni (latitudine, longitudine, altitudine) e tempo)


ERRORI

- Clock** del satellite e del ricevitore (e quindi di sincronizzazione)
- Orbita** errata dei satelliti
- Propagazione del segnale attraverso l'**atmosfera** (**ionosfera, troposfera**), soprattutto per satelliti bassi sull'orizzonte
- Multipath**: il segnale satellitare è deviato da ostacoli sul percorso (non trascurabile in ambiente urbano) e il ricevitore riceve echi da vari «riflettori», portando ad un errato tempo di volo
- Elettronica** del ricevitore
- Posizione e geometria dei satelliti rispetto al ricevitore (**GDOP – Geometric Dilution Of Precision**): maggiore il GDOP, peggiore e' la distribuzione spaziale dei satelliti (*vicini tra di loro*), quindi maggiore e' l'incertezza del posizionamento



RIDUZIONE ERRORI

- Ricevere segnale di **piu'** satelliti (8, 12, ecc.)
- **Pianificare** il rilievo, prevedendo la configurazione dei satelliti (GDOP)
- Usare antenne **Choke-Ring** per ridurre/eliminare echi/multipath
- Correzioni differenziali (**DGPS**):
 - Quasi tutti gli errori (ad eccezione di quelli dovuti a percorsi multipath) possono essere eliminate utilizzando un ricevitore (di alte prestazioni) su postazione fissa (temporanea o permanente) e che acquisisce in modo continuo dati di posizione
 - Questa stazione fissa (detta *master*) serve a calcolare gli errori di codice e fase
 - Gli scarti calcolati per la stazione fissa vengono utilizzati per correggere gli errori di misura del ricevitore mobile (detto *rover*)
 - La correzione può avvenire in tempo reale (**RTK - Real Time Kinematic** - trasmessi in tempo reale al ricevitore rover tramite radio o GSM) o in un secondo momento (**post-processing** - archiviati in formato RINEX), utilizzando i dati storici delle variazioni di codice e fase (rilievo statico) registrati dal ricevitore master
 - Il miglioramento della precisione nella misura è notevole, purché la distanza tra i due ricevitori non sia troppo elevata (qualche decina di km al max)



RIDUZIONE

- Errori orbitali
- Errori di propagazione (ionosfera e troposfera)
- Usare antenne **Choke-Ring** per ridurre/eliminare echi/multipath

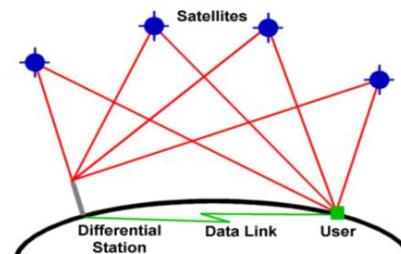
ELIMINAZIONE

- Errore del clock

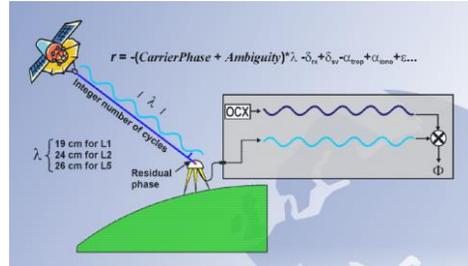
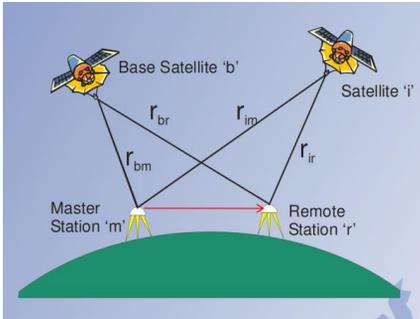
SOLO MISURE DI CODICE

MIGLIORA LA PRECISIONE

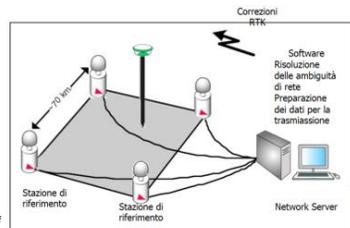
- Da metrica a submetrica



SIMILE AL DGPS MA CON MISURE DI FASE



IN ITALIA ESISTE L'RTK DI RETE

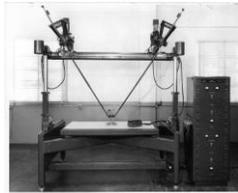


http://it.smartnet-eu.com/files/introduzione_alla_reti_rtk.pdf

- Nel 1910 fu fondata la International Society of Photogrammetry (ISP) oggi **ISPRS**



- Fino agli anni '90 la fotogrammetria era legata all'uso di fotocamere metriche molto costose (costruite specificamente per la fotogrammetria) e stereorestitutori, dispositivi speciali per misurazioni 3D dai fotogrammi



1890

Dalla fotogrammetria **analoga** a quella **analitica**

1990

Molto legata alle discipline di rilievo quali topografia e geodesia

Metodi completamente computazionali (ad esempio nessuna necessita' di conoscere gli orientamenti esterni a priori)

1990 Dalla fotogrammetria **analitica** a quella **digitale** Oggi



Con l'era digitale la fotogrammetria si e' rivoluzionata soprattutto in termini di velocita' e flessibilita'



dense image matching
ogni pixel dell'immagine

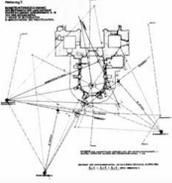
Orientamento automatico utilizzando l'estrazione di punti automatici (sift/surf+ransac)



Automatic texturing and meshing

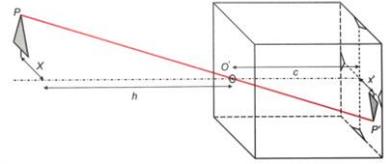
Nascita → oggi



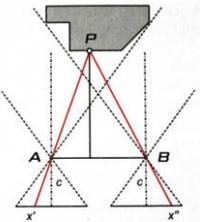


1890

Collinearity



Triangulation



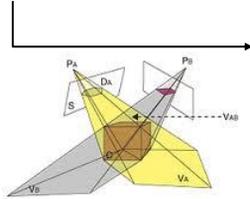
La tecnologia evolve ma i fondamenti teorici rimangono gli stessi





2015

PHOTO – GRAMMETRY! (foto-grammetria)
 ...ottenere misure a partire da fotografie...



La tecnica si basa su un modello matematico, quello della prospettiva centrale, per fornire un valore numerico alla quantità misurata, ovvero calcolare le coordinate 3D di un punto nello spazio

CLOSE RANGE (dei vicini)
 ...le foto sono acquisite da vicino... quanto vicino???



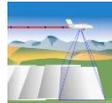
Sufficientemente vicino affinché il Sistema camera-lente sia focalizzato sull'oggetto (a differenza della fotogrammetria aerea dove il fuoco è all'infinito).

Secondo altri, è quando la distanza è inferiore ai 100 m (Atkinson)

+ immagini da satellite



+ immagini da sensori aerotrasportati



+ immagini da elicottero – mongolfiera – drone



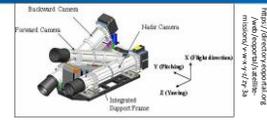
+ immagini terrestri



+ immagini subacquee



600-800 km



altitude



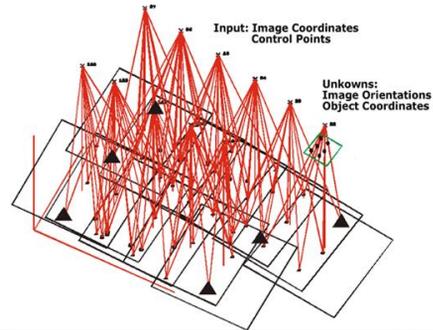
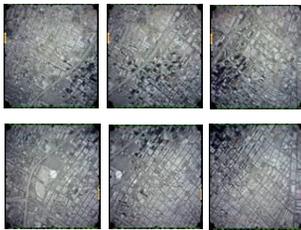
1-10 m



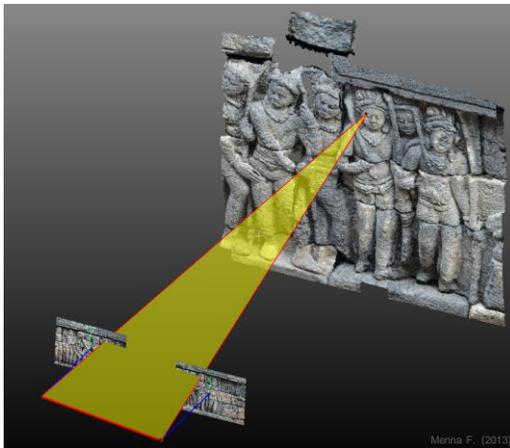
Come funziona?

- Intersezione nello spazio di raggi che partono da punti omologhi su diverse immagini
- 2 → **minimo numero di immagini**
- calcolo delle coordinate 3D di punti nello spazio oggetto) a partire dalle coordinate 2D sulle immagini
- necessario conoscere le coordinate di punti di controllo (**GCP**) o almeno una distanza per ottenere risultati metrici (\neq laser scanner)

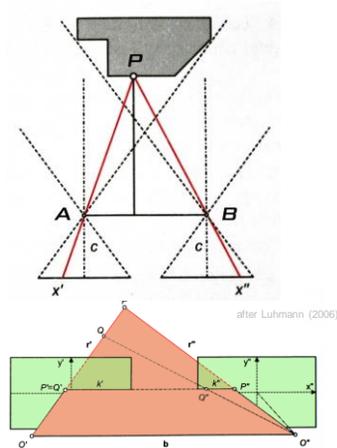
Esempio di blocco aereo

**Come funziona?**

...se gli orientamenti interni ed esterni di ogni presa fotografica sono noti allora le coordinate 3d di ogni punto oggetto possono essere calcolate partendo dalle coordinate 2d immagine visibili in almeno due foto

TRIANGULATION o SPATIAL INTERSECTION

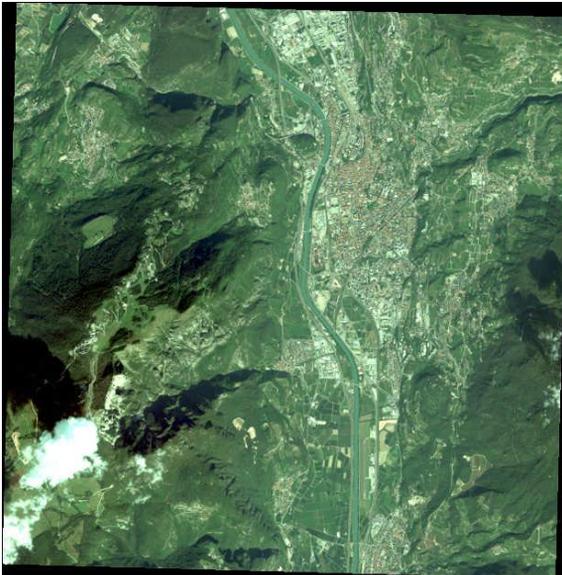
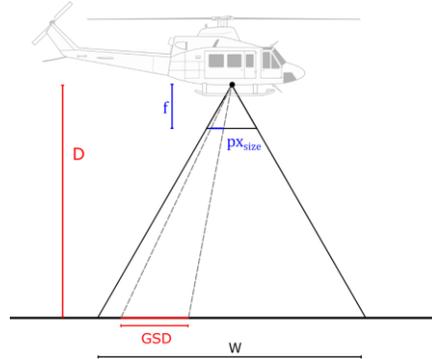
Menna F. (2013)



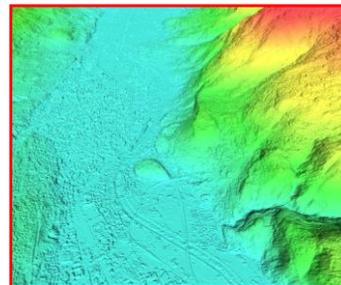
Spazio oggetto e spazio immagine sono legati da una relazione fondamentale:

$$\frac{px_{size}}{GSD} = \frac{f}{D}$$

- px_{size} : dimensione del pixel (elemento fotosensibile del sensore) della fotocamera
- f : lunghezza focale dell'obiettivo
- GSD : *Ground Sample Distance*, proiezione sul terreno del pixel (risoluzione spaziale)
- D : distanza del centro di presa dal terreno/oggetto
- W : abbracciamento a terra o *footprint*



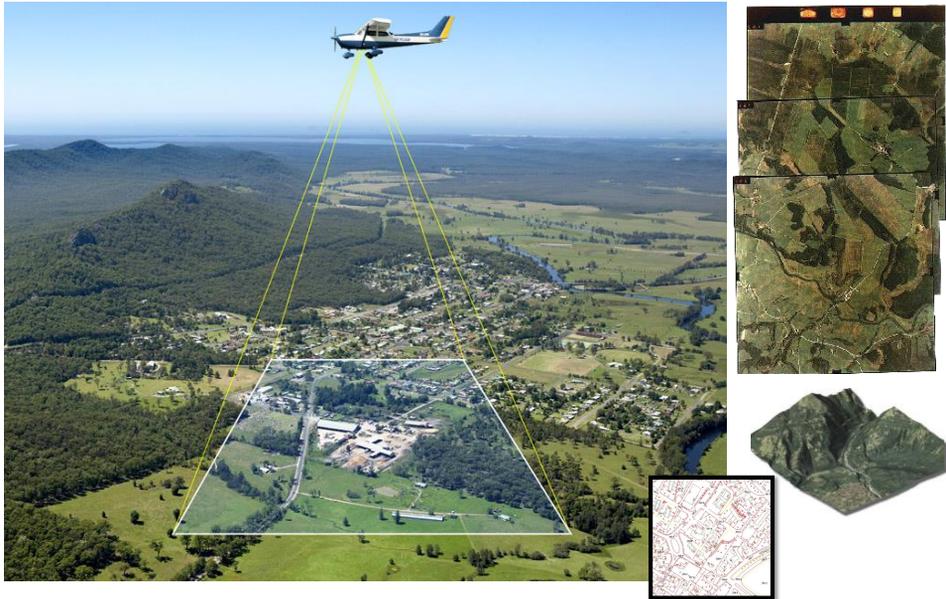
Trento da satellite (GeoEye, 50 cm risoluzione)



DSM, 1 m

FSK 3DOM
FONDAZIONE
BRUNO KESSLER
3D OPTICAL METROLOGY

FOTOGRAMMETRIA - esempio



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

43

This slide illustrates the process of 3D topographic mapping. It features a large aerial photograph of a landscape with a yellow cone of light originating from an aircraft, representing the field of view for photogrammetry. To the right, there is a vertical strip of overlapping aerial photographs, a 3D topographic map showing terrain elevation, and a small inset map showing a street grid.

FSK 3DOM
FONDAZIONE
BRUNO KESSLER
3D OPTICAL METROLOGY

FOTOGRAMMETRIA - esempio



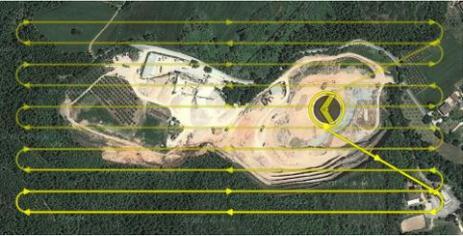
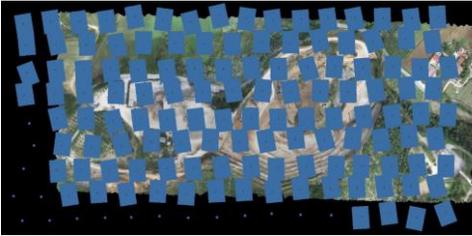
Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

44

This slide shows a detailed 3D topographic map of a dense urban area. The map is rendered in a realistic style, showing buildings, streets, and green spaces. The terrain is shaded to indicate elevation, and the overall appearance is that of a high-resolution 3D model derived from photogrammetry.

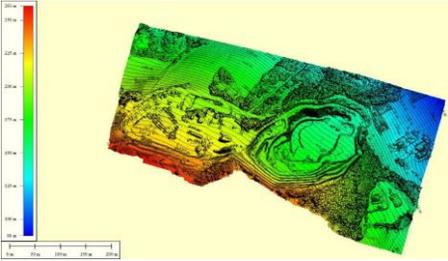
F3K 3DOM
FONDAZIONE BRUNO KESSLER
3D OPTICAL METROLOGY

FOTOGRAMMETRIA - esempio

Strisciate aeree con sovrapposizione regolare tra le immagini

Posizione della immagini acquisite




Digital Elevation/Surface model (DEM / DSM)

Ortofoto

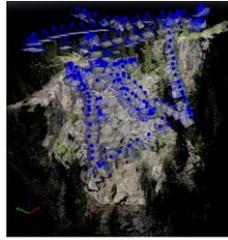
Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

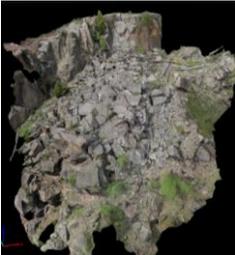
45

F3K 3DOM
FONDAZIONE BRUNO KESSLER
3D OPTICAL METROLOGY

FOTOGRAMMETRIA - esempio







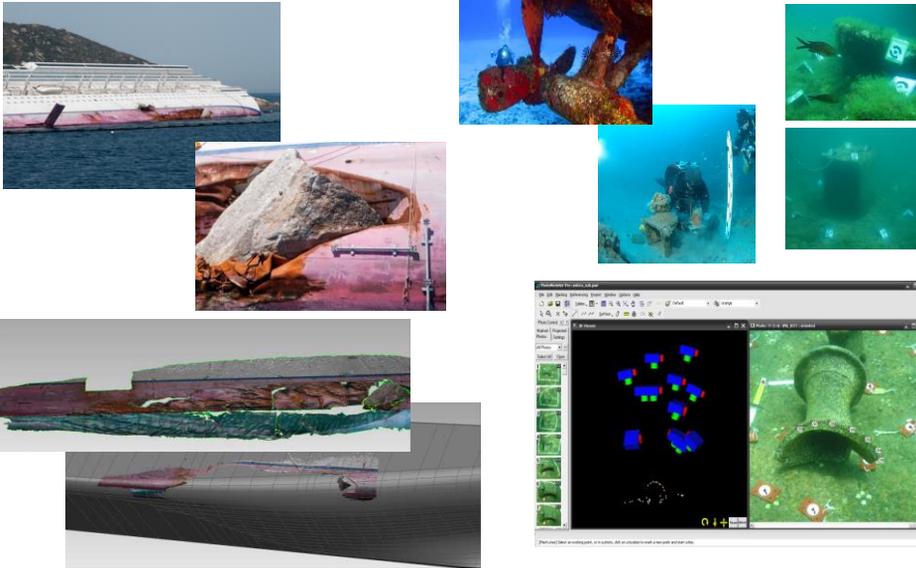

Rilievo con drone della frana di Fortebuso / Paneveggio (ca 100 x 100 m)
3 voli, 250 immagini, 7 cm GSD
RMSE: 0.5 cm (X/Y), 0.8 cm (Z)

Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

46

FOTOGRAMMETRIA - esempio

Rilievi subacquei

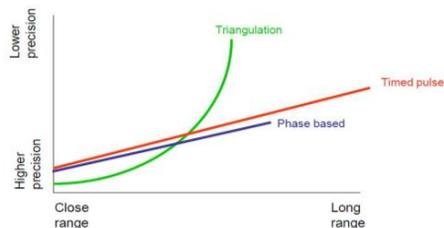
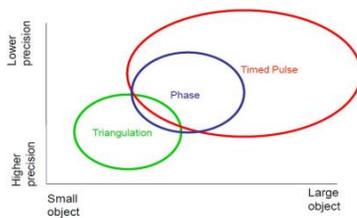
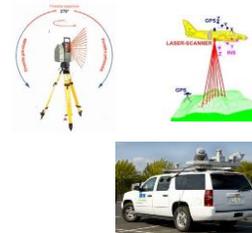


Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

47

LASER SCANNING

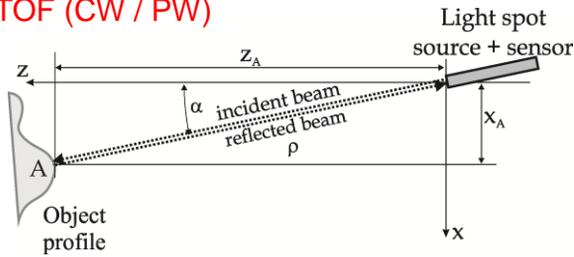
- E' una tecnica per *raccogliere* nuvole di punti 3D basata sull'impiego di sensori attivi (luce laser, proiezione di frange, etc.)
- Due principi di misura: triangolazione vs tempo di volo (TOF, differenza di fase (CW) o a impulso (PW))
- Sensori terrestri (TLS) vs aero-trasportati (ALS) sensors
- Piattaforme statiche vs mobile
- Corto, medio e lungo raggio
- Facilita' di utilizzo, alti costi



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

48

TOF (CW / PW)

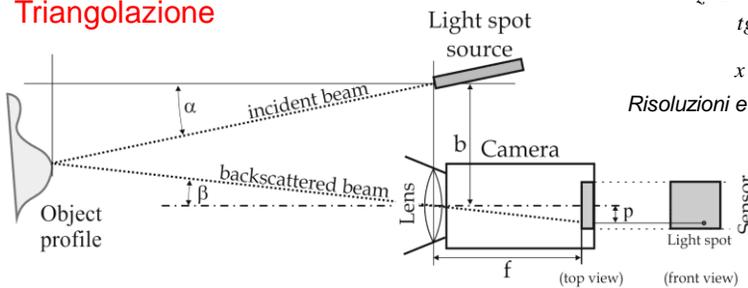


$$z = \rho \cdot \cos(\alpha)$$

$$x = \rho \cdot \sin(\alpha)$$

Risoluzioni e precisioni mm

Triangolazione



$$z = \frac{b}{\operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\frac{p}{f})}$$

$$x = z \cdot \operatorname{tg}(\alpha)$$

Risoluzioni e precisioni sub-mm

Triangolazione

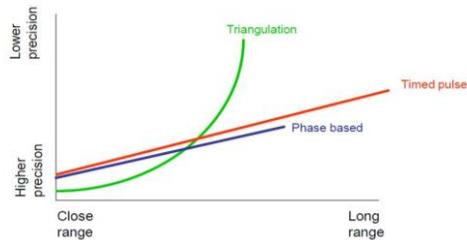
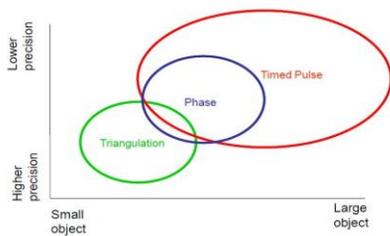
Product: Range map

- Singola / multipla lama laser, 0.05-0.3 mm risoluzione / precisione
- Luce strutturata, 0.05-0.3 mm risoluzione / precisione

Tempo di Volo (TOF)

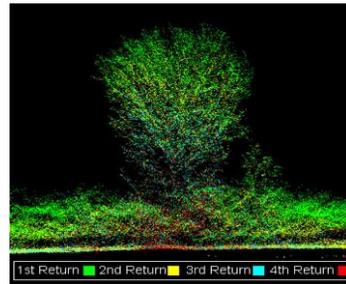
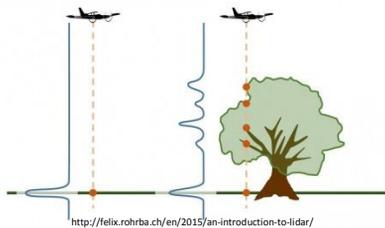
Product: Point cloud

- PW – Pulse Wave: grandissime distanze (fino a 5-8 km); 3-5 mm rumore; applicazione aeree, geologico, ambiente
- CW – Continuous Wave: grandi distanze (200-300 m); 2-3 mm rumore; applicazione architettoniche, urbane



LASER SCANNING – principi di misura

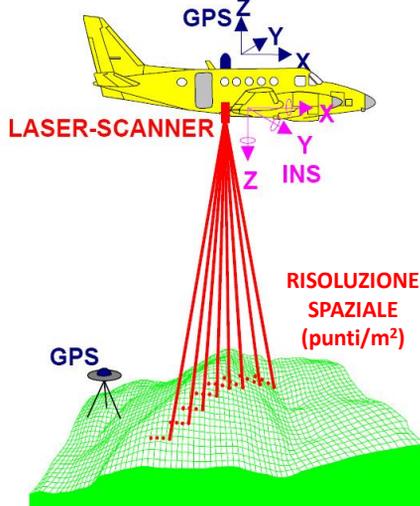
- La tecnologia laser scanner e' utilizzata in molte applicazioni per la possibilita' di acquisire un elevatissimo numero di punti in poco tempo
- Airborne Laser Scanning (ALS) o LiDAR (*Light Detection And Ranging*) aereo e' considerato "the most important geospatial data acquisition technology that has been introduced since the last millennium" (Petrie & Toth, 2008)
- ALS e' usato per la mappatura di aree ampie o di *corridoi* ed e' capace di misurare punti anche attraverso la vegetazione
- Discrete vs full waveform signal



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

51

LASER SCANNING – aereo

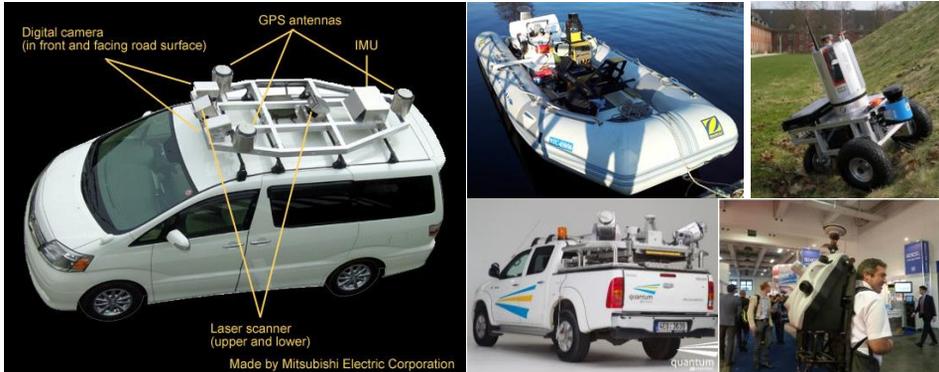


- TOF scanner montato su un aereo e *accoppiato* con sensori di posizione (GPS/INS)
- I primi sistemi ALS sono apparsi negli anni 60 per scopi militari
- Sono stati resi disponibili sul mercato agli inizi del 2000
- Ogni punto misurato deve essere correttamente geo-localizzato
- In planimetria l'accuratezza e' peggiore che in altimetri, a causa degli errori del sistema di posizionamento
- Le eco multiple sono usate per classificare il dato in automatico

Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

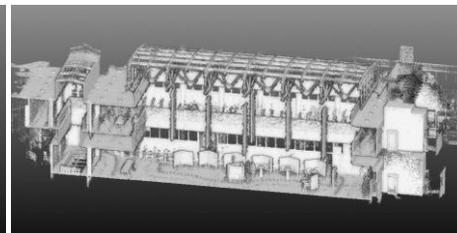
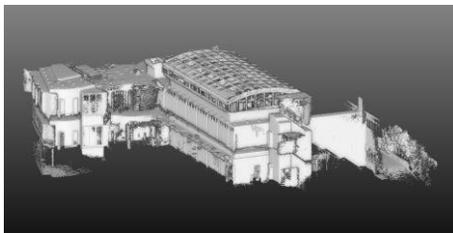
52

- ❑ *Indoor vs outdoor*
- ❑ Rilievi per mappatura 3D (*3D mapping*)
- ❑ Laser scanner a tempo di volo montati su diversi vettori e *accoppiati* con sistemi di posizionamento (GNSS + INS/IMU) e sensori di immagine



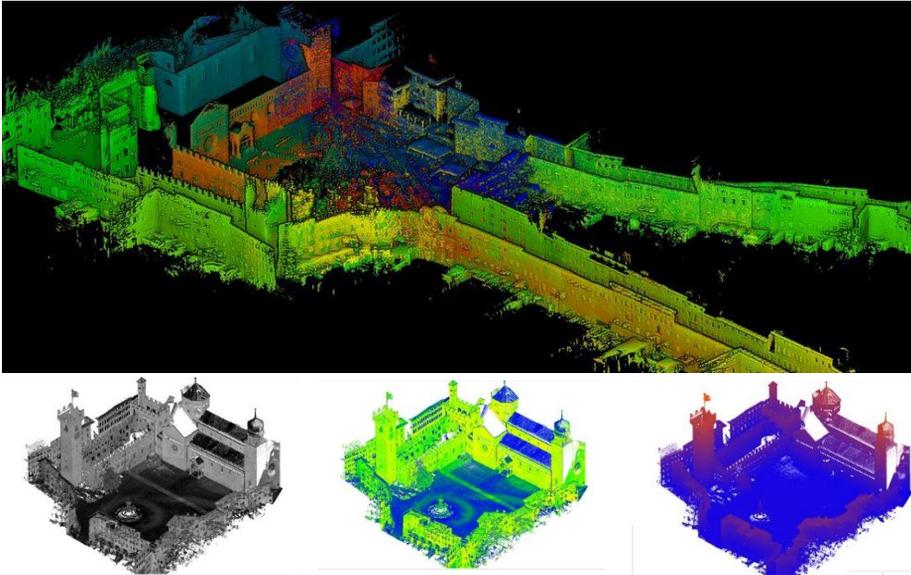
Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

53



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

54



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

55

RILIEVO DIRETTO



↓

Misura manuale di lunghezze e distanze tra punti

↓

Lunghezze o (indirettamente) coordinate 3D di singoli punti

TOPOGRAFIA



↓

Misura di angoli e distanze di punti singoli

↓

(indirettamente) coordinate 3D di pochi punti

LASER SCANNING



↓

Misura automatic di angoli e distanze di molti punti

↓

(indirettamente) coordinate 3D di molti punti

FOTOGRAMMETRIA



↓

Misura automatic su immagini

↓

(indirettamente) coordinate 3D di molti punti

Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

56

– Oggigiorno sono disponibili diverse tecniche di rilievo e modellazione 3D, ma non e' sempre banale scegliere quale sia la piu' adatta per un'applicazione specifica

– **No panacea:** spesso l'integrazione di diverse tecniche produce i risultati migliori!



Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

Ricerca & Rilievo	Oggetti da rilevare in 3D	Dati e fonti disponibili
Scala regionale	Territorio Citta' Siti di elevate estensione	<ul style="list-style-type: none"> • Immagini da satelliti a media/alta risoluzione • Immagini aeree a piccolo scala • Radar & LiDAR • GNSS
Scala locale	Siti di media/piccola estensione Edifici Strati di scavo	<ul style="list-style-type: none"> • Immagini aeree a grande scala (areomobili/droni) • Radar, magnetometria & LiDAR • LiDAR terrestre - Tempo di volo • Immagini fotogrammetriche <i>terrestri</i> • Stazione totale • GNSS
Scala oggetto	Oggetti e parti di oggetti	<ul style="list-style-type: none"> • Immagini fotogrammetriche terrestri • Scanner a triangolazione

GIS

Rilievi 3D con Topografia, Fotogrammetria e Laser Scanner

58