



PRINCIPI DI LASER SCANNING 3D

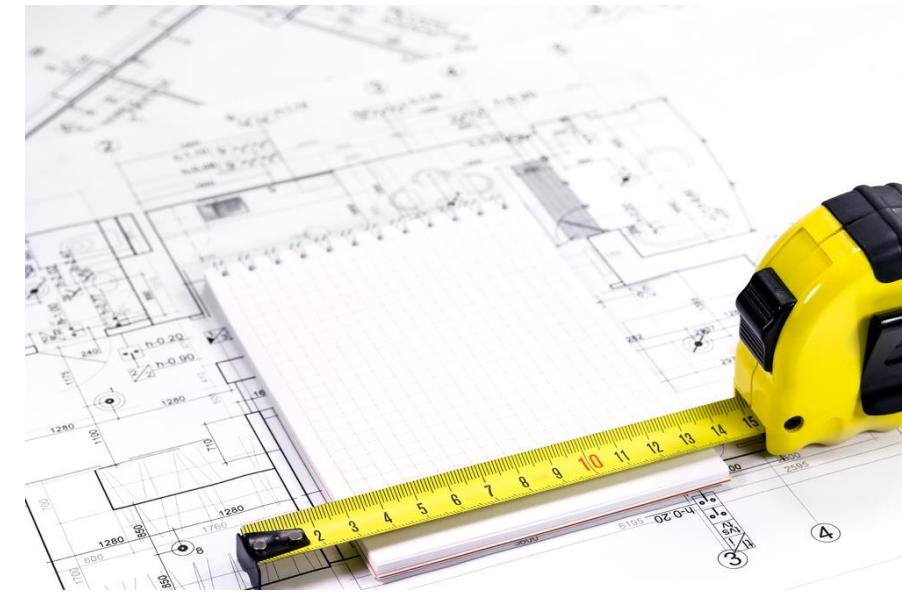
Dott. Ing. Marco Limongiello

COSA SIGNIFICA RILIEVO?

Il rilievo è la raccolta di informazioni necessarie e sufficienti a consentire la ricostruzione di un'opera architettonica con le tecniche originarie.

Le fasi di rilievo sono essenzialmente due:

- *la ripresa*, durante la quale avviene, sul campo, l'acquisizione delle informazioni e può essere: diretta, fotogrammetrica, laser scanner 3D;
- *la restituzione*, che riguarda l'utilizzazione delle informazioni raccolte, generalmente finalizzate alla rappresentazione dell'edificio in pianta, prospetto e sezione. Con l'arrivo delle tecniche digitali spesso oggi è possibile disporre di un modello tridimensionale digitale, dal quale ricavare tutte le rappresentazioni piane, prima disegnate a mano.





TECNICHE DI MISURA 3D

REALITY- BASED

-
- FOTOGRAMMETRIA
- COMPUTER VISION
- SENSORI OTTICI
- RILIEVI CLASSICI

IMAGED-BASED:

- FOTOGRAMMETRIA: grandi precisioni, poche immagini, ampie basi di presa, camere calibrate, misure automatiche.
- COMPUTER VISION: scarsa accuratezza, tante immagini, automazione.

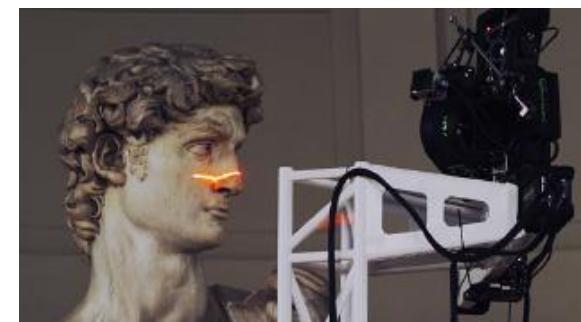
RANGE-BASED:

- LASER SCANNER :TOF (grandi distanze, basse precisioni), o a triangolazione (piccoli oggetti, elevate precisioni).
- RILIEVI CLASSICI: GPS, stazione totale: misure puntuali, basse densità.

SENSORI ATTIVI E SENSORI PASSIVI

SENSORI ATTIVI

Per sensori 3D attivi si intendono dispositivi in grado di generare un'immagine tridimensionale dell'oggetto inquadrato sfruttando le proprietà ottiche di un segnale luminoso opportunamente codificato. La luce codificata, a differenza della luce ambiente, è una luce che per contenuto informativo è facilmente riconoscibile da un sensore elettronico



SENSORI PASSIVI

Con una tecnica passiva come la fotogrammetria, sono misurabili le coordinate 3D dei punti chiaramente identificabili nelle immagini, con variazioni di luminanza ben contrastate. Laddove si debba misurare un oggetto senza una texture contrastata, come ad esempio una parete bianca, o la superficie di una carrozzeria a tinta unita, la selezione non può essere fatta senza ausilio di riferimenti esterni posizionati sulla scena

SENSORI ATTIVI E SENSORI PASSIVI

FOTOGRAFIA

Misurazioni (3D) da immagini:

- Time consuming
- 3D e Tessitura nelle immagini
- Risultati dipendenti dall'oggetto
- Basso costo



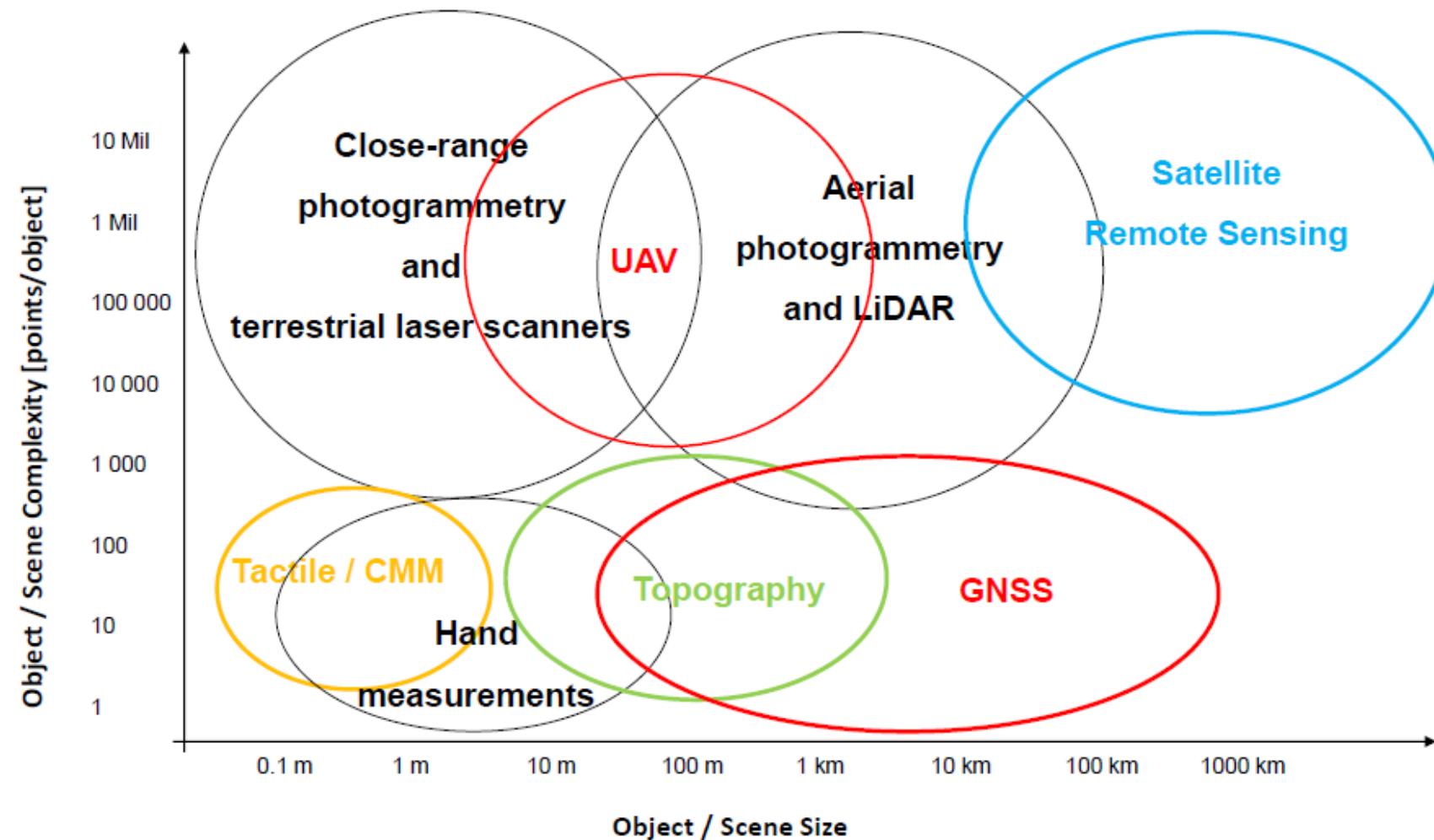
LASER SCANNER

Sensori che forniscono l'informazione 3D direttamente:

- Molto costosi
- Tessitura assente o di minor qualità
- Risultati dipendono dal materiale dell'oggetto
- +Velocità di acquisizione



SENSORI ATTIVI E SENSORI PASSIVI





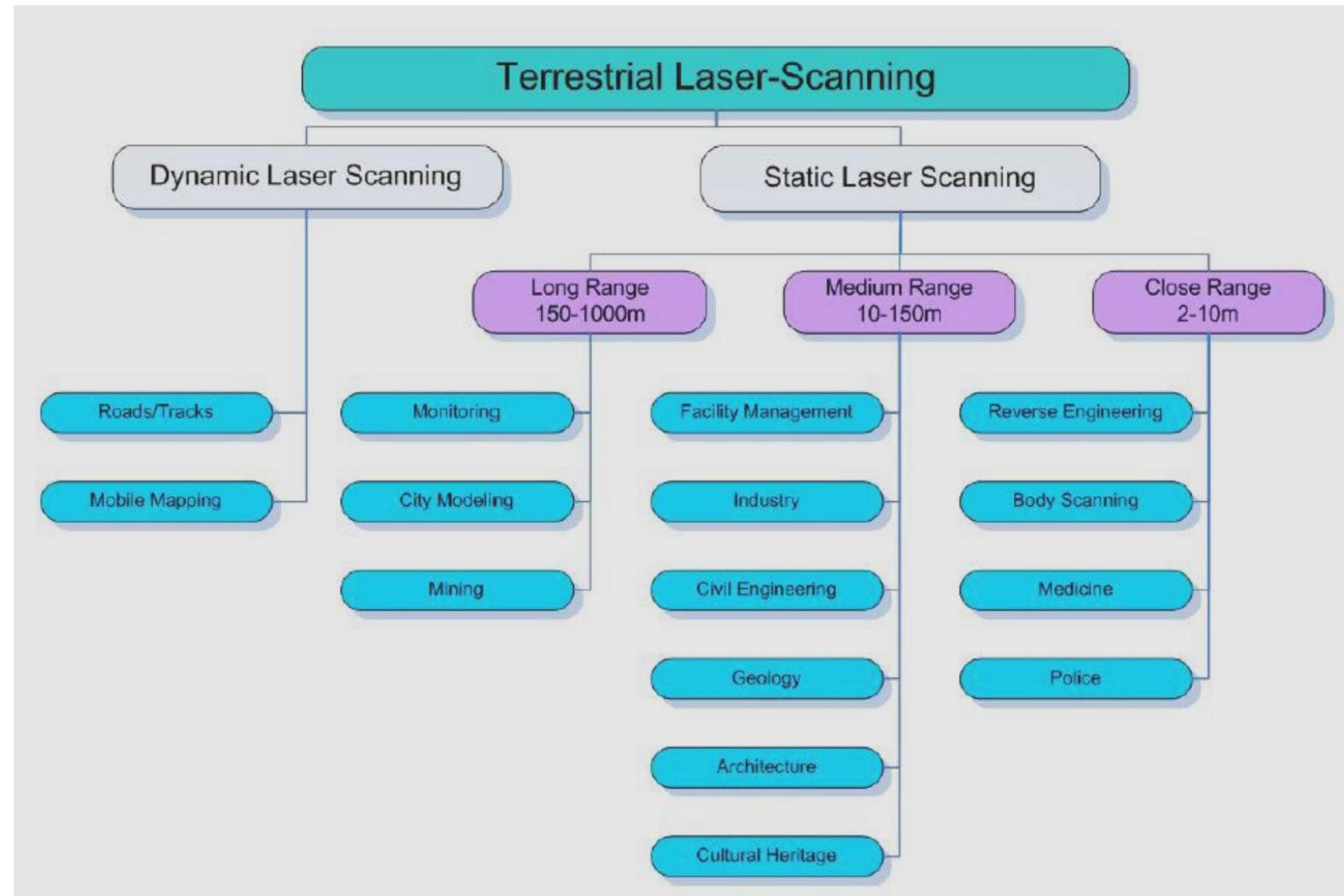
LA TECNOLOGIA LASER SCANNER

Che cosa è un **Laser Scanner**?

è uno strumento di misura automatico che acquisisce dati tridimensionali di tutto ciò che scansiona grazie a un raggio laser deflesso da uno specchio rotante. Il risultato è sempre una nuvola di punti, ovvero un insieme denso di punti con coordinate x, y, e z raffiguranti l'oggetto esaminato.

Il vantaggio principale di questa tecnologia consiste nella possibilità di rilevare una grande quantità e densità di dati (punti) con un'estrema precisione in un breve periodo di tempo (vantaggio che in assenza di un corretto approccio scientifico si può trasformare, come spesso accade, in una problematica stante l'enorme mole di dati acquisiti).

CALSSIFICAZIONE LASER SCANNER

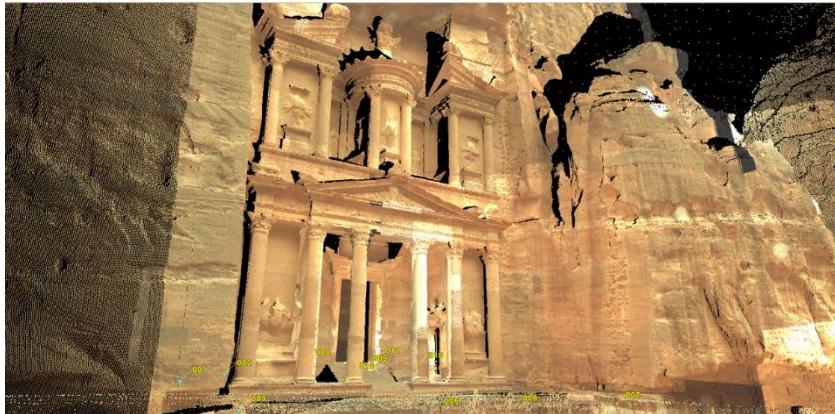




CLASSIFICAZIONE: STATICO E DINAMICA

Attualmente la metodologia laser scanner è classificabile in statica e dinamica. Nel primo caso, sicuramente il più diffuso, la strumentazione si manterrà in una posizione fissa durante l'acquisizione dei dati prenderà il nome di scansione laser statica. Nel caso di acquisizione dinamica, invece, il laser viene montato su una piattaforma mobile, richiedendo apparati di posizionamento addizionali, come per esempio stazioni inerziali, implica un sistema di acquisizione più complesso e molto più costoso. Un esempio ci è dato dai laser scanner aerotrasportati, ovvero posizionati sopra piattaforme aeree (o a volte veicoli).

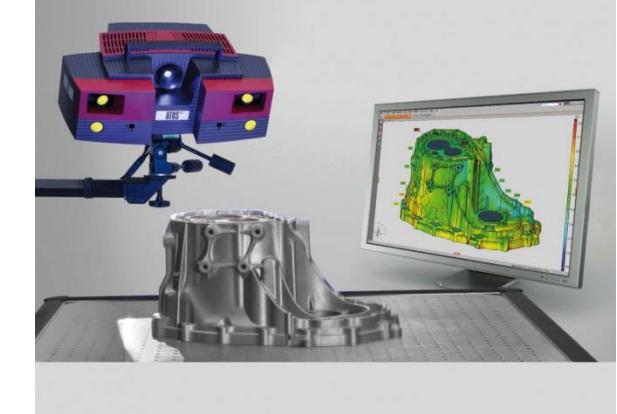
CAMPPI DI APPLICAZIONE



Archeologia



Architettura



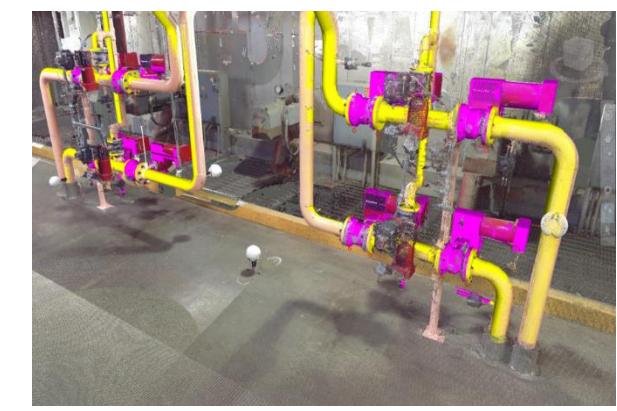
Reverse Engineering



Ambientale



Forense



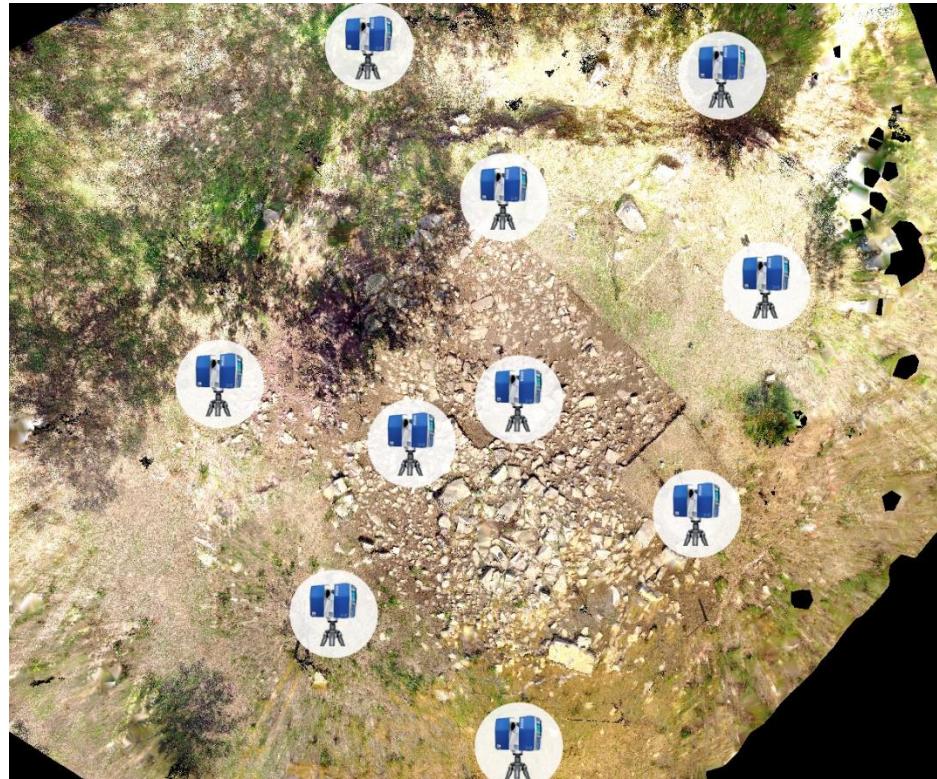
Piping



CAMPI DI APPLICAZIONE: ARCHEOLOGIA

- Modellazione simulazione e ricostruzione virtuale 3D di beni, anche non più esistenti
- Accesso remoto ai dati e ai modelli 3D in alta risoluzione
- Analisi e monitoraggio dello stato di conservazione nel tempo
- Monitoraggio di fenomeni di degrado e dei danneggiamenti non visibili
- Estrapolazione di informazioni sui materiali
- Catalogazione e diffusione di documenti digitalizzati e di informazioni di contesto
- Accesso intelligente all'informazione culturale
- Applicazione di Nuove Tecnologie digitali agli studi umanistici
- Estrapolazione di informazioni architettoniche di edifici e aree urbane
- Analisi e monitoraggio di uno scavo
- Ipotesi di ricostruzione dell'aspetto originario di un sito archeologico
- Catalogazione, documentazione e diffusione della conoscenza
- Fruizione del bene a distanza

SETTORI DI UTILIZZO: ARCHEOLOGIA



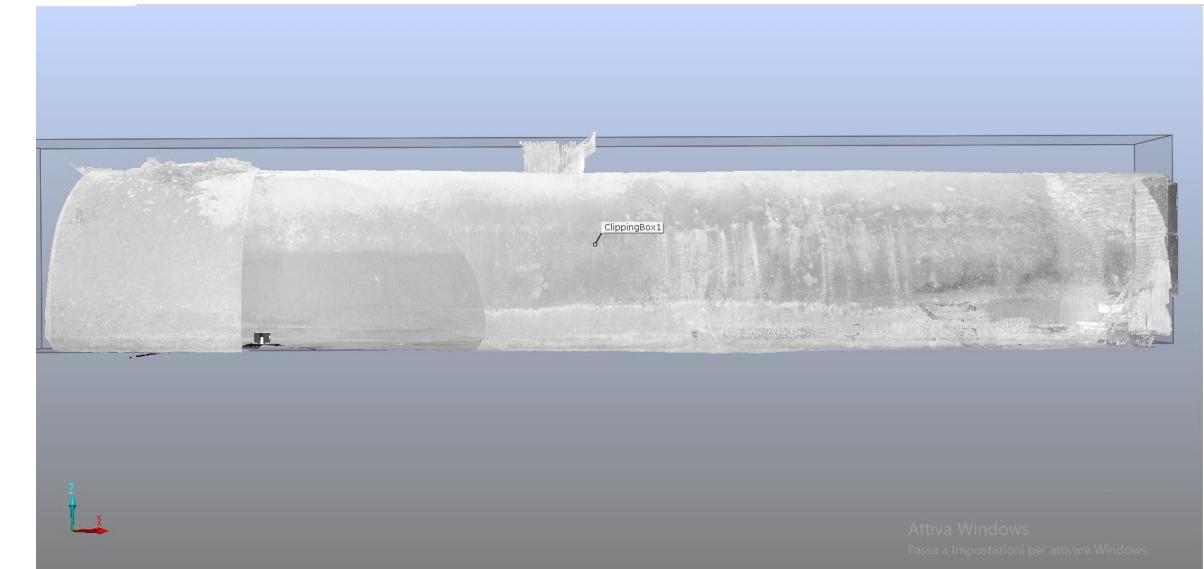
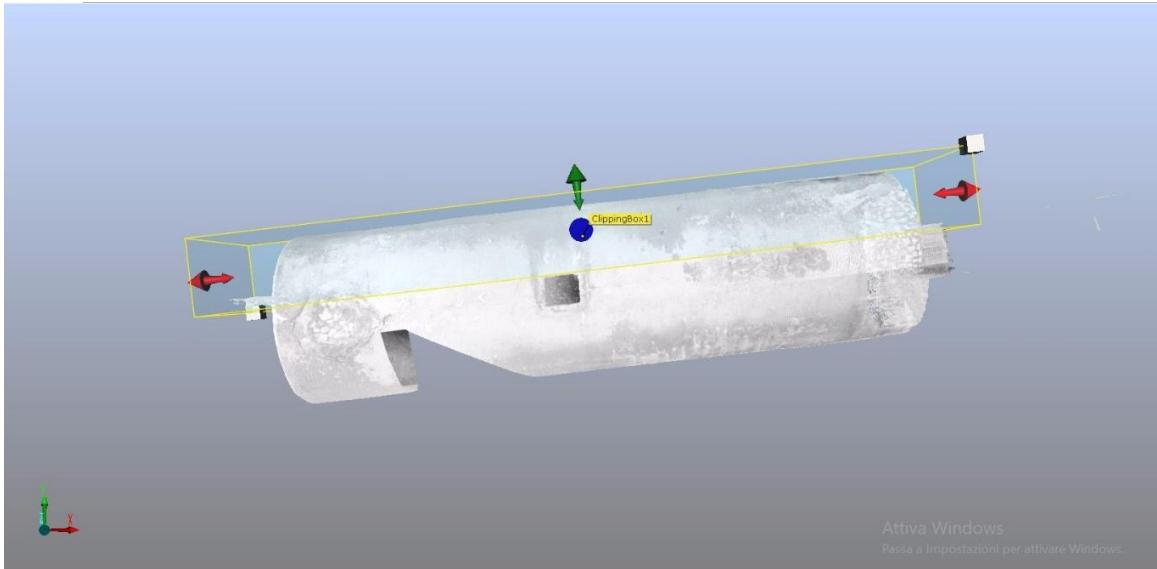


CAMPI DI APPLICAZIONE : ARCHITETTURA

- **restituzioni 2D e modelli 3D:** dal dato 3D rilevato si possono estrarre tavole 2D come piante, prospetti, sezioni, o modelli tridimensionali per ristrutturazioni o successive costruzioni.
- **ristrutturazioni:** è possibile utilizzare il rilevamento geometrico esatto di oggetti esistenti come base per ristrutturazioni o ampliamenti.
- **studio di fattibilità:** il rilievo del contesto permette di simulare l'impatto ambientale ed urbano dell'opera da realizzare in un determinato contesto.
- **facility management:** al pari delle strutture vengono ovviamente rilevate anche tutte le dotazioni collegate (tubazioni, cavi elettrici, ecc..), che saranno la base per progettazioni, ricostruzioni e/o integrazioni future. Questo database può in ogni momento essere integrato ed esteso.
- **ortofoto:** grazie ad una fotocamera ad alta risoluzione è possibile texturizzare un modello 3D e ottenere una ortofotopiano.



CAMPPI DI APPLICAZIONE : ARCHITETTURA

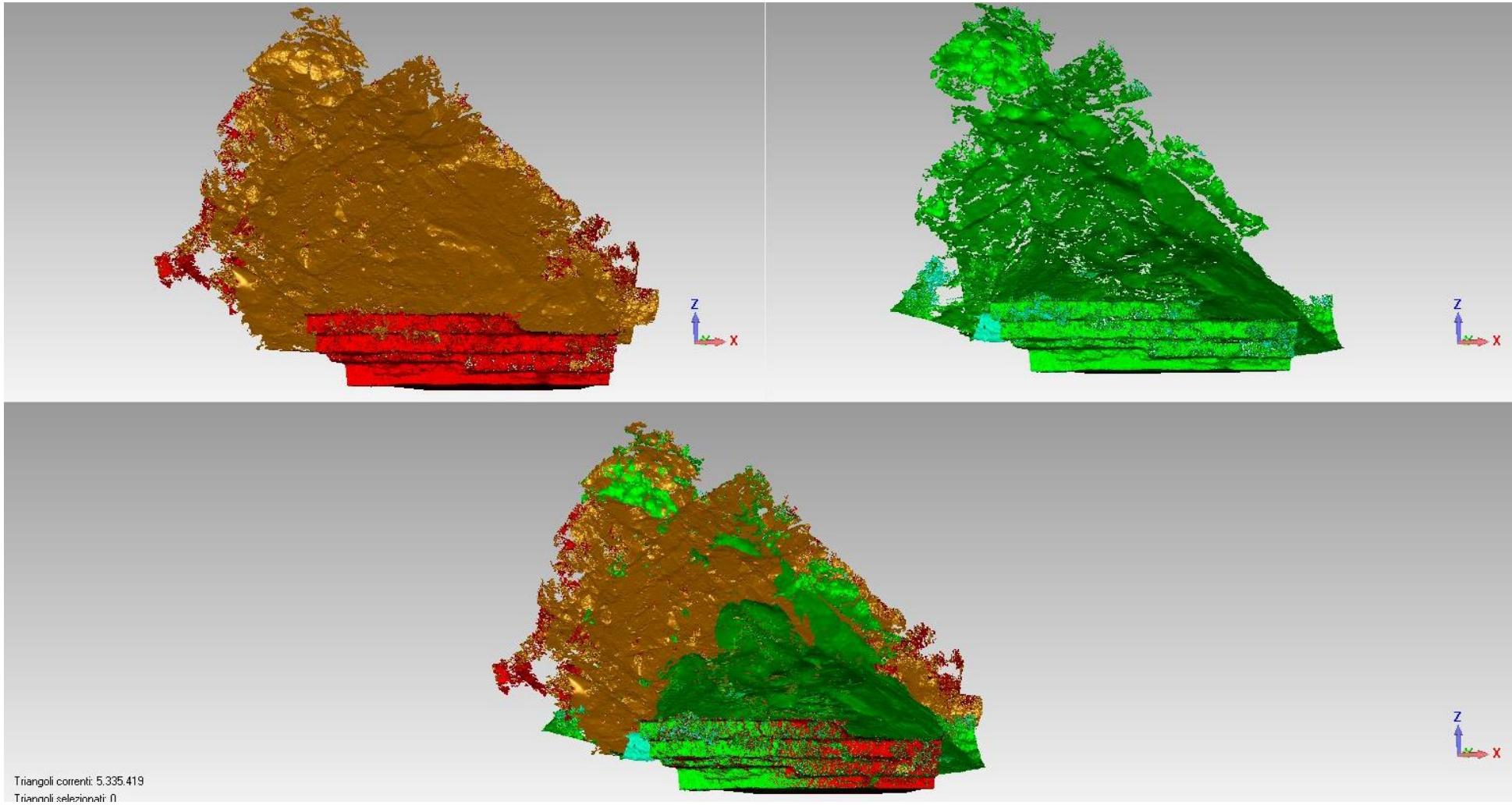




SETTORI DI UTILIZZO: AMBIENTALE

- Monitoraggio di movimenti franosi
- Identificazione delle strutture tettoniche maggiori
- Georeferenziazione automatica di immagini metriche sulla nuvola di punti per l'identificazione delle macro fratture
- Riconoscimento delle discontinuità e caratterizzazione geomeccanica dell' ammasso roccioso
- **Variazioni** volumetriche di una cava
- **Determinazione** dello spessore degli strati per la ricostruzione della colonna stratigrafia di un affioramento e misura della spaziatura apparente delle discontinuità.

SETTORI DI UTILIZZO: AMBIENTALE

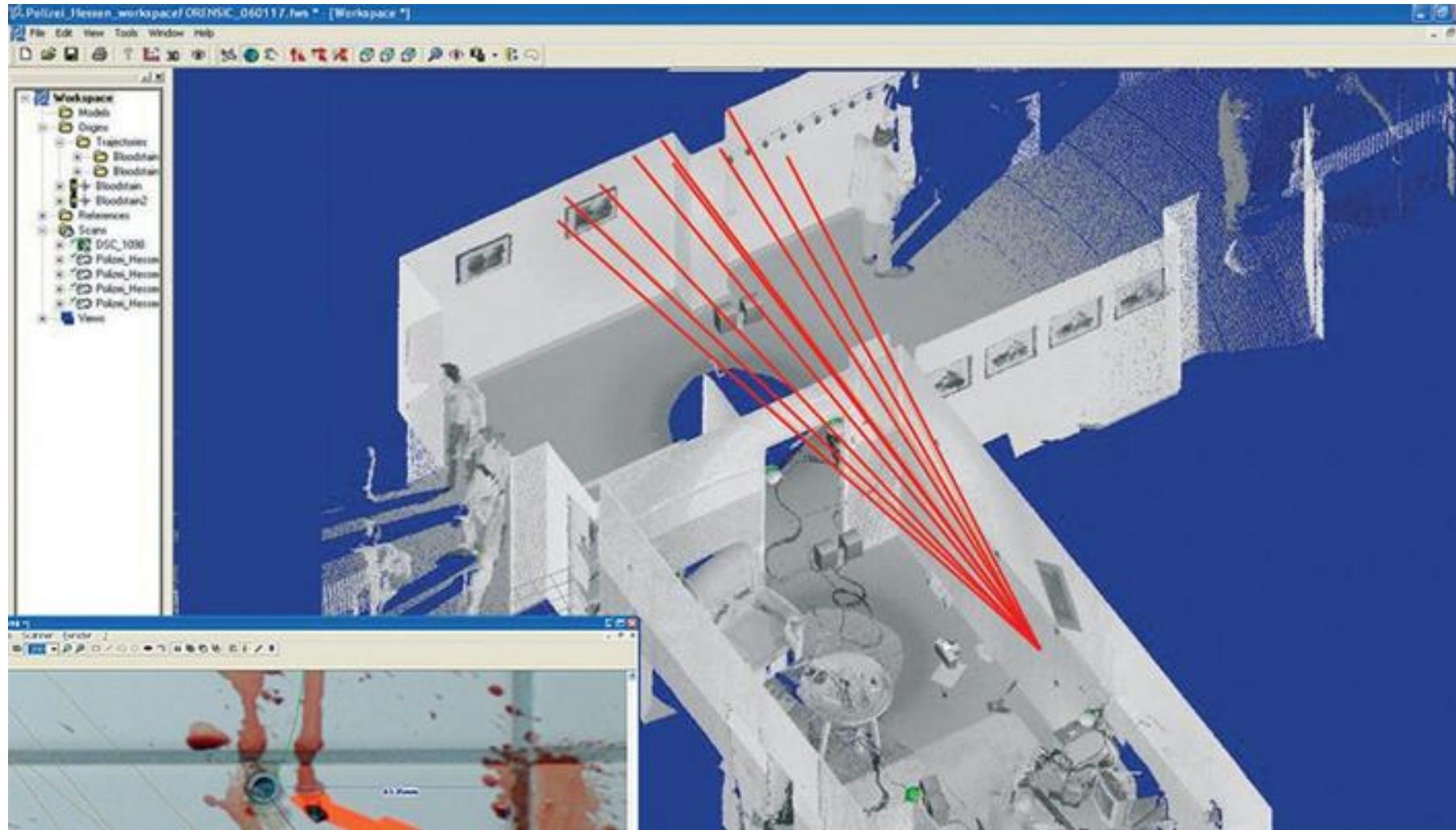




SETTORI DI UTILIZZO: FORENSE

- **Misurare la Scena del Crimine:** le scene del crimine possono essere scansionate da varie posizioni, in modo da completare il rilievo dell'ambiente collegando le varie scansioni per poi generare tavole 3D, piante, sezioni verticali e orizzontali utili a ricostruire il delitto.
- **Controlli Dimensionali in 3D:** combinare nuvole di punti 3D con immagini 2D (scattati da telecamere di sorveglianza). Una «persona virtuale» può essere introdotta nella nuvola di punti e grazie alle immagini 2D è possibile adattarne le dimensioni.
- **Rilievo di Incidenti:** il rilevamento laser scanner garantisce una ripresa tridimensionale accurata e completa della scena dell'incidente con dettagli quali le deformazioni dei veicoli o tracce di sbandate. Utilizzando questa tecnica le domande relative alle possibili cause e alla precisa sequenza dell'incidente possono trovare molto più velocemente analisi e risposte corrette.

SETTORI DI UTILIZZO: FORENSE





SETTORI DI UTILIZZO: INDUSTRIALE

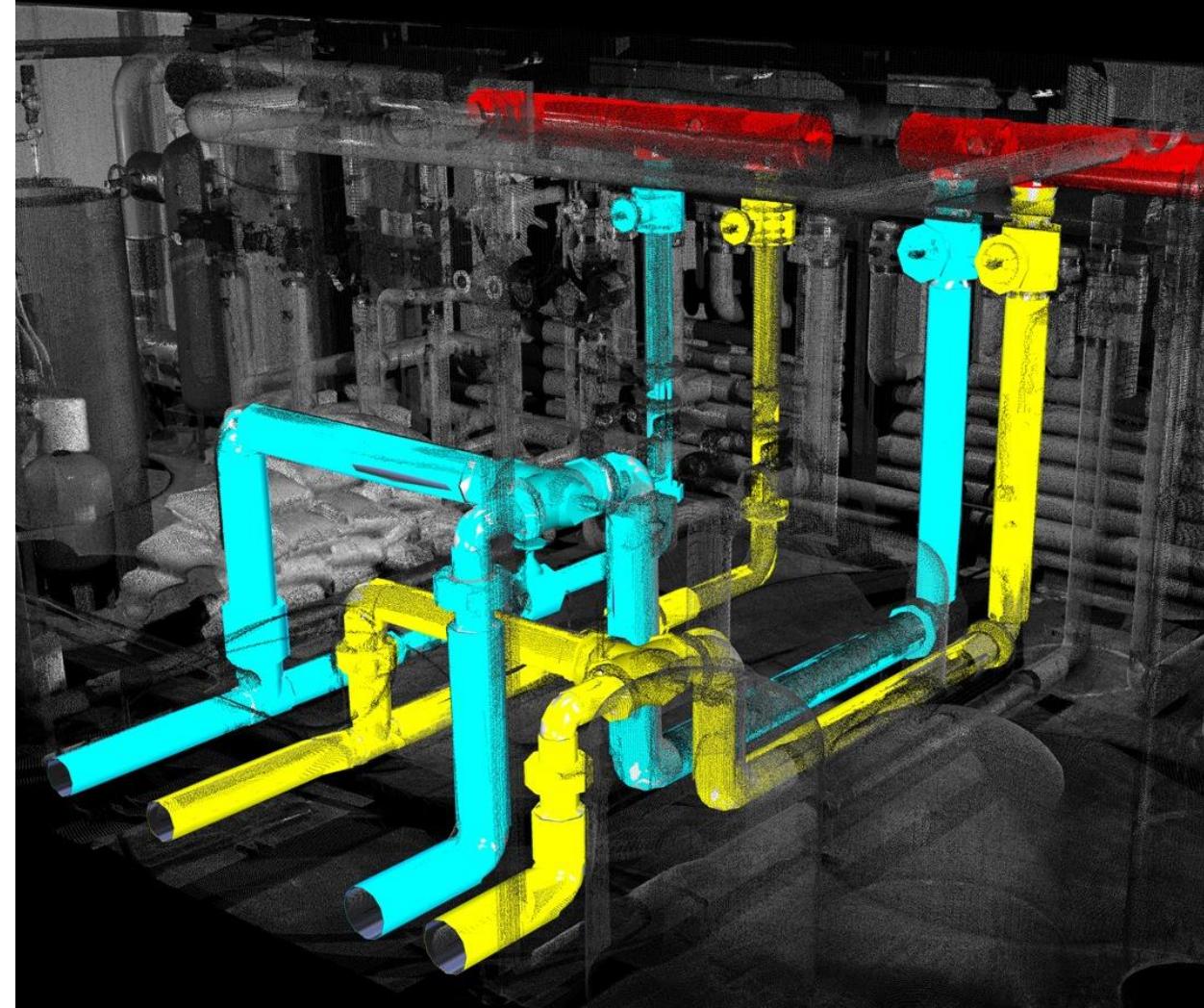
Modellazione 3D Semi-automica: grazie ai sistemi di misura laser si possono ricostruire modelli 3D dello stato di fatto dell'azienda o dell'impianto (e.g. tubazioni, travi di acciaio). Inoltre è possibile generare modelli CAD completi partendo dal dato laser scansionato (la cosiddetta nuvola di punti).

Simulazioni: Avendo modelli 3D complete è possibile simulare processi produttivi e/o prove distruttive.

Analisi di tolleranza: i dati 3D laser possono essere comparati direttamente con modelli CAD esistenti per evidenziare immediatamente le differenze.

Facility Management: al pari delle strutture vengono ovviamente rilevati anche tutte le dotazioni collegate (tubazioni, cavi elettrici, ecc..), che sono la base per ogni future ricostruzione e/o integrazione. Questo database può in ogni momento essere integrato o esteso.

SETTORI DI UTILIZZO: INDUSTRIALE



SETTORI DI UTILIZZO: REVERSE ENGINEERING

- Definizione di modifiche, usure o deformazioni;
- Riproduzione di oggetti di forma complessa;
- Riproduzione di oggetti morbidi e flessibili;
- Conservazione di un manufatto;
- Sviluppo percorsi utensile;
- Supporto analisi FEM;
- Costruzione di prototipi.

Fasi operative

Acquisizione dati: nella fase di acquisizione dati si procede con la ricostruzione della forma dell'oggetto attraverso la digitalizzazione tridimensionale del modello fisico di riferimento.

Definizione dati: In seguito si definiscono i punti rilevati sotto forma di modelli matematici, permettendo così la riproduzione o la modifica dell'oggetto.





SENSORI ATTIVI E SENSORI PASSIVI

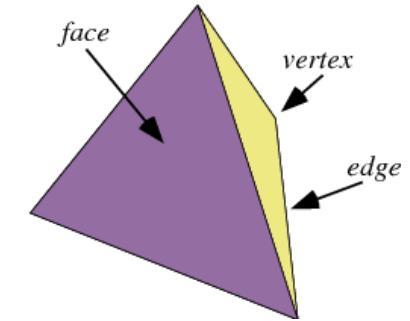
Gli strumenti ottici (attivi o passivi) restituiscono sempre un prodotto definito «*nuvola di punti*», da cui è possibile generare altri elaborati tra cui:

- Superfici poligonali (Mesh)*
- disegni 2D (Piante, sezioni, prospetti);
- Ortofoto*;
- altri elaborati tramite l'utilizzo di software dedicati (modelli BIM, Render, ecc...).

MESH POLIGONALE

Una mesh poligonale, in computer grafica, è un reticolo che definisce un oggetto nello spazio, composto da *vertici*, *spigoli* e *facce*. Il termine mesh in inglese significa letteralmente "maglia", "rete". Una mesh, differentemente da un oggetto solido reale, non presenta una massa; è quindi una sorta di volume vuoto, privo di spessore, le cui facce sono appunto dei "veli" superficiali.

I componenti visibili di una mesh sono:



Vertice – Punto dello spazio, dotato quindi di coordinate x, y, z che ne determinano la posizione. In inglese: *vertex*.

Spigolo – Segmento che congiunge due vertici nello spazio. In inglese: *edge*.

Faccia – Definita attraverso la connessione e chiusura di almeno tre spigoli.[9] In inglese: *face*.

ORTOFOTO

Una ortofoto è una fotografia (spesso aerea) che è stata geometricamente corretta dagli effetti distorsivi e prospettici (cioè ha subito procedimento di ortorettifica).

In altre parole l'ortofoto è una singola immagine che ha la proprietà di essere una proiezione ortografica, ed è quindi misurabile.



Immagine



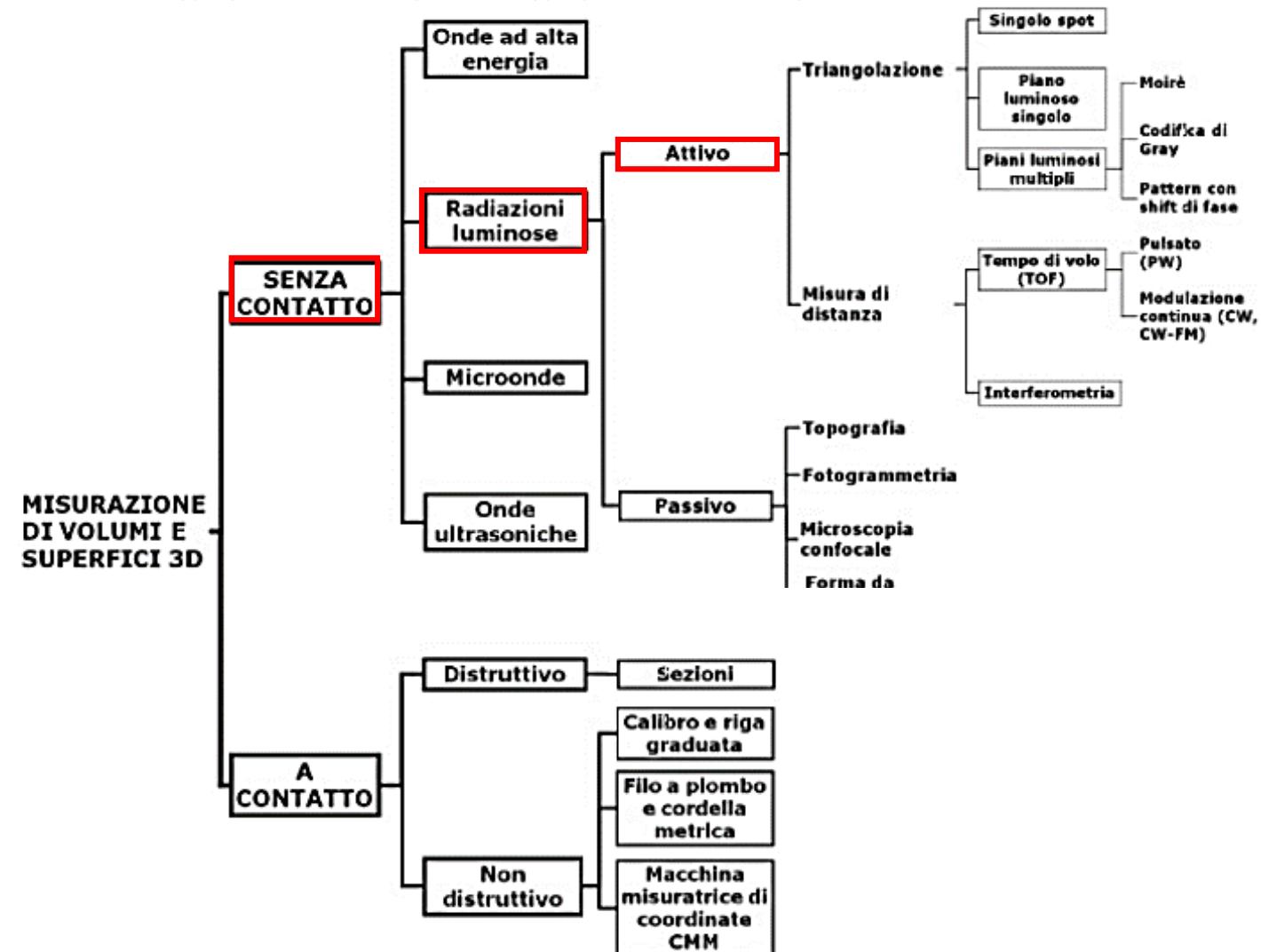
Ortofoto



PARTE II

- Classificazione e misurazione di superfici 3D
- Spettro elettromagnetico e la luce
- Principio fisico di misurazione
- Alterazioni del segnale luminoso
- Meccanismo di misurazione di un TLS
- Classi di rischio
- Laser scanner a Triangolazione
- Laser scanner triangolazione: schema di funzionamento
- T.O.F e Schema di Funzionamento
- Differenza di Fase e schema di funzionamento
- Cenni sulla interferometria

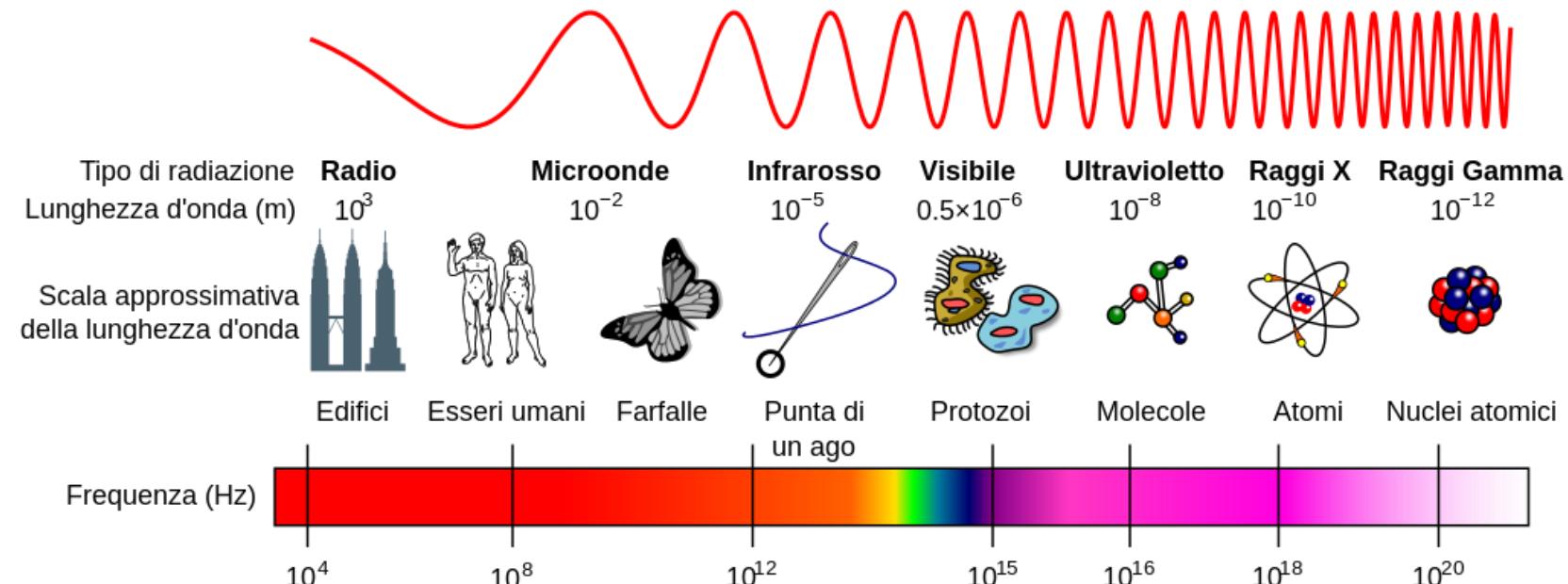
CLASSIFICAZIONE MISURAZIONE SUPERFICI 3D



LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO E LA LUCE

Come abbiamo già visto, la luce visibile è un particolare tipo di onda elettromagnetica; possiamo distinguere diversi tipi di onde elettromagnetiche, che differiscono tra loro per una diversa lunghezza d'onda, e quindi una diversa frequenza di propagazione.

Lo spettro elettromagnetico riassume l'insieme delle frequenze delle onde elettromagnetiche, che vengono divise in base alla frequenza e alla lunghezza d'onda in diversi tipi di radiazione.





LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO E LA LUCE

Le lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico variano dall'onda lunga (onda radio) – impiegata per il rilievo architettonico –, alla gamma dei raggi corti, aventi dimensioni paragonabili al nucleo di un atomo.

L'elaborazione teorica degli ultimi quattro secoli (teoria delle particelle e teoria delle onde) ha portato alla teoria dei quanti, affermando che la luce può essere interpretata come una sequenza di fotoni (pacchetti di energia elettromagnetica) per i quali vale la seguente relazione:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Dove:
l= Lunghezza d'onda
c = Velocità della luce
f = frequenza



PRINCIPIO FISICO

C (Velocità della luce) è un parametro limitato da vincoli fisici; nel vuoto il suo valore è esattamente $c = 299\ 792\ 458$ m/sec, ma generalmente il suo valore nel vuoto standard è approssimato con $c = 3 \times 10^8$ m/sec, cioè 300.000 km / sec.

Quando la luce viaggia in un diverso mezzo c diminuisce.

Il rapporto tra la velocità della luce in un mezzo e nel vuoto è chiamato indice di rifrazione:

$$n = c_{vuoto} / c_{mezzo}$$

Ad esempio per aria $n = 1.00025$, mentre per l'acqua, che produce una riduzione di velocità più sostanziale, $n = 1.33$.

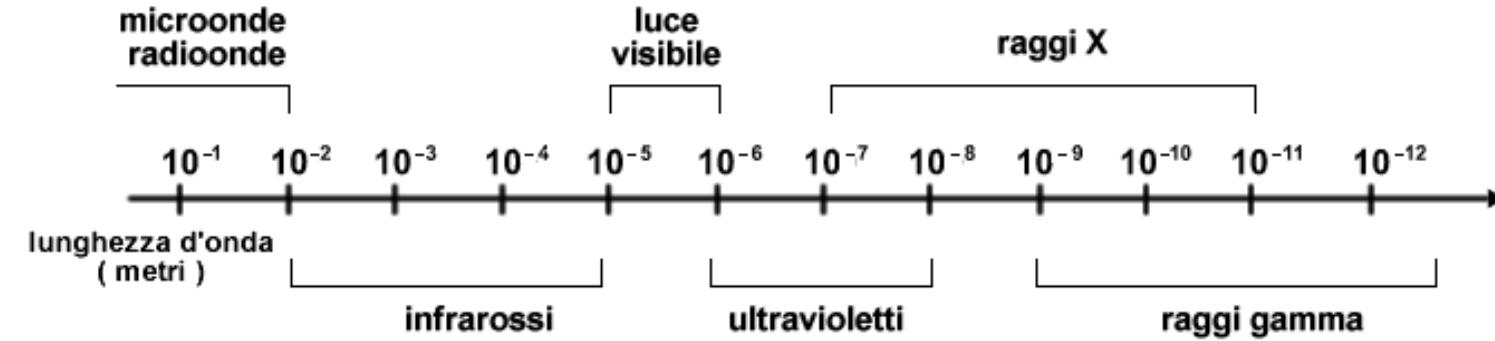
La relazione implica che una volta definito il mezzo e fissata la frequenza, la lunghezza d'onda viene determinata automaticamente. Inoltre, prova che, più è bassa la frequenza, più lunga è la lunghezza d'onda e viceversa.

PRINCIPIO FISICO

Ad esempio il nostro cellulare GSM utilizza una frequenza nella gamma GigaHertz, che coinvolge lunghezze d'onda nel range dei decimetri (900 MHz -> 33 cm, 1,8 GHz -> 17 cm). In caso di luce le frequenze sono molto più grandi (500 TeraHertz), quindi le lunghezze d'onda sono decisamente più piccole (circa 0.6 μ m)

Sono visibili all'occhio umano solo le lunghezze d'onda comprese tra 380 e 770 nm e la variazione di frequenza in questo intervallo implica una diversa percezione del colore.

A differenza delle microonde utilizzate nei radar, la luce ha lunghezze d'onda molto più corte (<1 μ m). La lunghezza d'onda di un laser scanner può variare dai 200 ai 700 nm passando così dall'ultravioletto al visibile e all'infrarosso.





LASER SCANNER

Consiste in uno strumento in grado di generare onde di luce usando una banda stretta dello spettro, che si chiama appunto **laser**. Un tipico laser emette luce in un fascio di lunghezza d'onda ben definita, stretto e poco divergente (corrispondente a un colore particolare se il laser opera all'interno dello spettro visibile). L'ampiezza della banda spettrale ristretta è il motivo per il quale i fasci laser sono visualizzati con colore primari (rosso, verde o blu). *Es. i laser maggiormente usati nel rilievo delle misurazioni di corta e media distanza si caratterizzano per una lunghezza d'onda di 1064 nm (vicino all'infrarosso) o 532 nm (laser verde).* Si osserverà che queste caratteristiche di lunghezza – *long-coherence-length* – comportano una tendenza al fenomeno del rumore che si può osservare in dettaglio come una sorta di sgranatura della nuvola di punti (quando un fascio laser incide su una superficie metallica). Altre caratteristiche sono: la maggior parte dei laser emettono una lunghezza d'onda vicino all'infrarosso che l'occhio umano non può percepire; la luce laser non sempre è continua, può essere emessa sotto forma di impulsi brevi o ultra brevi (di conseguenza, può essere caratterizzata da livelli di energia estremamente alti). Infine, la velocità di propagazione della luce in un determinato ambiente è finita e costante, motivo per cui ben si presta al rilievo indiretto.



ALTERAZIONI DEL SEGNALE LUMINOSO

I metodi di misura senza contatto impiegati per effettuare una acquisizione 3D analizzano le alterazioni che un oggetto apporta alla luce e da queste deducono informazioni di carattere metrico, come le coordinate spaziali di alcuni punti della sua superficie. Le alterazioni al segnale luminoso emesso dal laser possono essere principalmente tre:

Assorbimento

Trasmissione

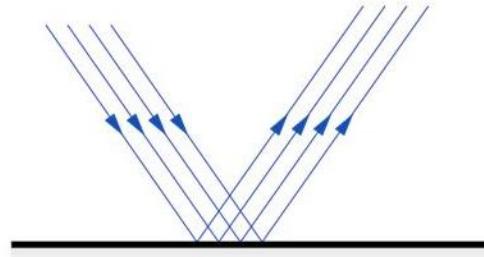
Riflessione

Il fenomeno che maggiormente si presta all'utilizzo per lo scopo di misurazione è la **riflessione**, che può essere sottoclassificato in:

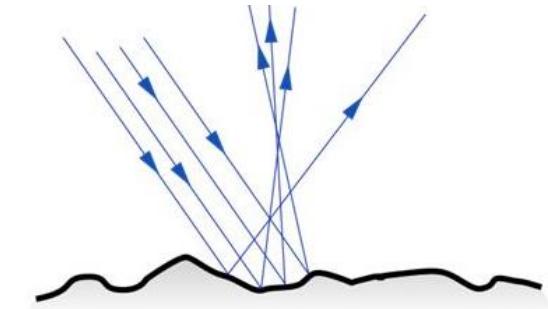
Speculare: l'energia luminosa associata a un raggio di luce che incide la superficie viene restituita interamente in direzione simmetrica a quella incidente rispetto alla normale alla superficie

Diffusa: si ha quando un raggio luminoso che incide su una superficie viene restituito in tutte le direzioni a partire dal punto di incidenza. Se la restituzione è uguale in tutte le direzioni si parla di superficie Lambertiana

RIFLESSIONE: SPECULARE E DIFFUSA



Riflessione Speculare



Riflessione Diffusa

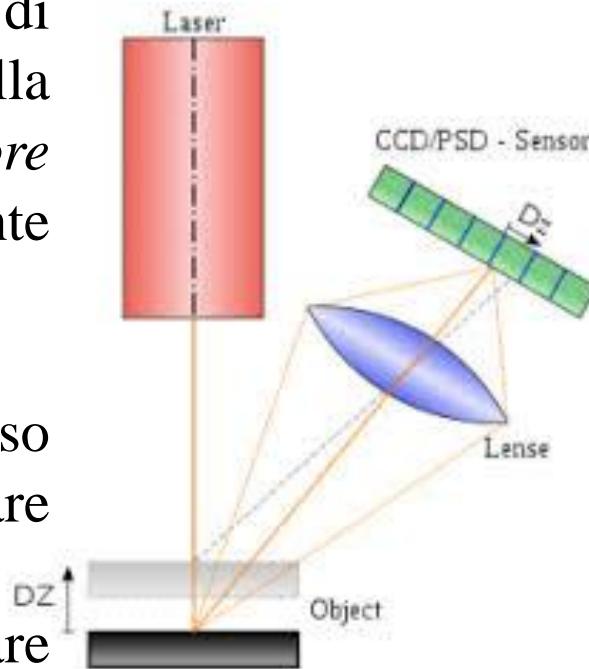
In generale i materiali reali non hanno mai un comportamento esattamente speculare o esattamente Lambertiana: hanno un comportamento intermedio con tendenza ad avvicinarsi maggiormente al primo che al secondo. *Differenza sostanziale nel comportamento è il grado di lisciatura della superficie:* scabrosità microscopiche di una superficie tendono a comportarsi come microscopici specchi distribuiti aleatoriamente che riflettono la luce in tutte le direzioni. Maggiornemente la superficie è scabra, maggiore è l'effetto diffusivo, mentre le superfici più regolari, hanno comportamenti maggiormente vicini a riflessioni speculari.

LASER SCANNER

La tecnica di misurazione attiva si basa essenzialmente su un Terrestrial Laser Scanner (TLS) è quello di emettere un tipo di radiazione controllata e di registrarne, successivamente, la relativa riflessione. Quindi, diversamente dalla tecnica precedente, in questo caso sarà necessario operare con un *emettitore* laser e un *ricettore* (un sensore), il che implica un sistema di presa certamente più complesso.

I vantaggi principali di questa tecnologia risiedono:

- possibilità di operare anche in assenza di luce ambientale perché è lo stesso strumento a generare una sua propria radiazione (quindi, si può lavorare anche in ambienti bui o in notturna);
- restituire una gran mole di misurazioni in maniera semi-automatica; catturare anche su superfici non uniformi e/o complesse; un'estrema velocità di acquisizione (anche fino a 1.000.000 punti/s).





CLASSI DI RISCHIO

A seconda del range di lunghezza d'onda emesse da un laser scanner si distinguono diverse classi di rischio che sono:

Classe 1: laser che sono sicuri in condizioni standard

Classe 2: laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezza d'onda tra 400 e 700nm. La protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa umano (riflesso palpebrale).

Classe 3: Si divide in due sottoclassi:

A) laser che sono sicuri per la visione ad occhio nudo, con lunghezze d'onda tra i 400 e i 700 nm, la protezione è assicurata dalle reazioni di difesa umane;

B) la visione di riflessioni diffuse è normalmente pericolosa.

Classe 4: laser che possono causare lesioni cutanee e possono costituire anche un pericolo d'incendio.



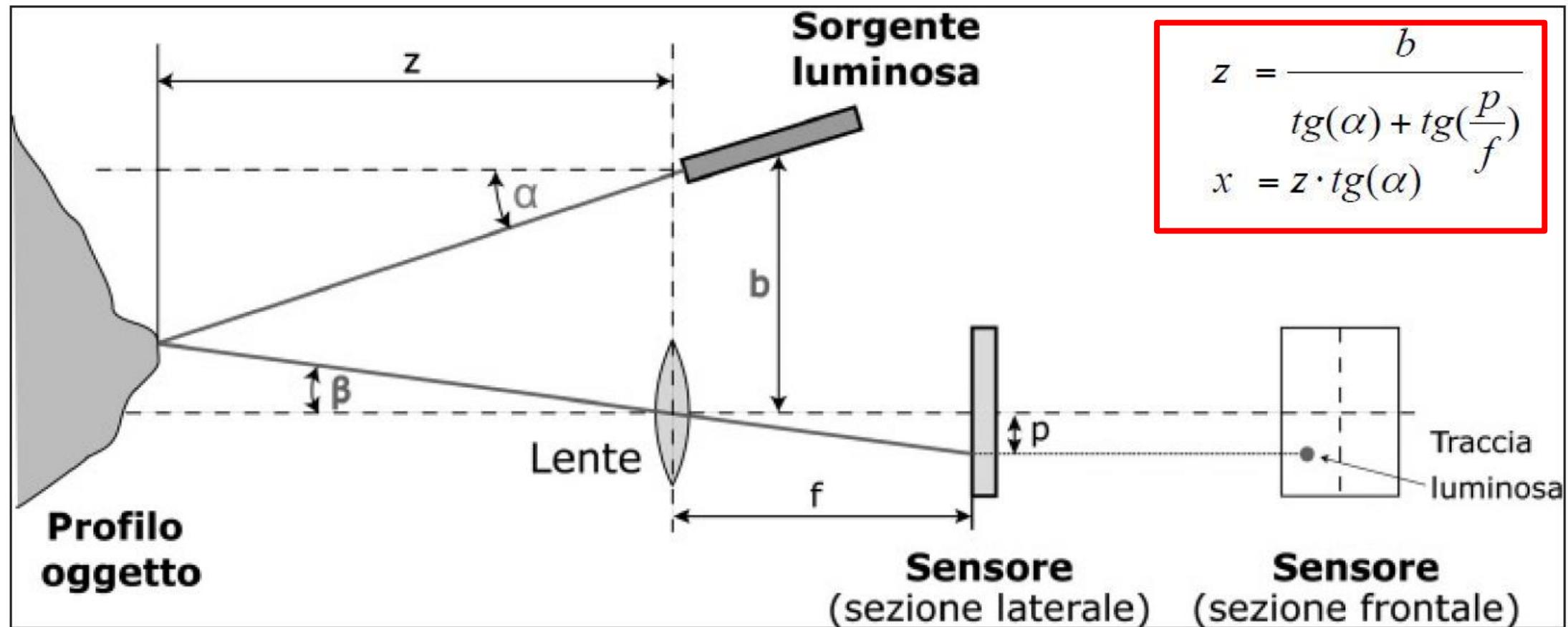
LASER SCANNER TRIANGOLAZIONE

Un laser scanner a triangolazione si basa sullo stesso principio della trilaterazione (o triangolazione) adoperato nel rilievo diretto degli ambienti interni: un raggio laser è proiettato sull'oggetto da documentare e un sensore catturerà/individuerà la traccia dello stesso raggio laser. L'emettitore laser e il sensore si installano con un angolo costante creando, in tal modo, un triangolo, avente come terzo vertice la proiezione del laser: da qui il nome di triangolatori.

Analizzando la figura successiva si osserva che la lunghezza del lato b del triangolo è nota e indica la distanza tra il sensore e l'emettitore laser (conosciuta anche come base fotogrammetrica o baseline); L'angolo α è anche esso noto a priori e quindi l'angolo del sensore β può essere facilmente determinato individuando la posizione del raggio laser nel campo visuale del sensore.

La stima della posizione del puntino focalizzato sul piano del sensore consente di misurare la distanza p , attraverso la quale si può facilmente risalire, dal teorema degli angoli opposti, all'angolo β :

LASER SCANNER TRIANGOLAZIONE: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO





LASER SCANNER TRIANGOLAZIONE

È dimostrabile che all'aumentare della dimensione b (base) diminuisce l'errore che si commetterà nello stimare la profondità; tuttavia, distanze troppo elevate tra emettitore e sensore, riducono sensibilmente il campo visivo del sistema di presa e, quindi, la proiezione del laser difficilmente sarebbe catturata dal sensore (oltre ai limiti strumentali di fabbricazione e trasportabilità, che consigliano, allo stato, valori per questa misura di poche decine di centimetri). Allo stesso scopo di diminuire le imprecisioni e le imperfezioni nel rilevamento della profondità dei punti, oltre al citato incremento della base di triangolazione (che genererà un aumento delle ombre) si può ridurre la distanza oggetto-scanner (peraltro diminuendo anche la presenza di zone d'ombra) e incrementare la distanza focale della lente associata al sensore (però con una diminuzione del campo visivo). *Data l'impossibilità, per quanto sopra argomentato, di impiegare basi molto grandi e un campo visivo limitato, gli scanner che utilizzano il principio di funzionamento della triangolazione sono adoperati solamente in quelle applicazioni che generalmente prevedono una scansione con distanze di acquisizione inferiori ai 2 metri.*



LASER SCANNER TRIANGOLAZIONE



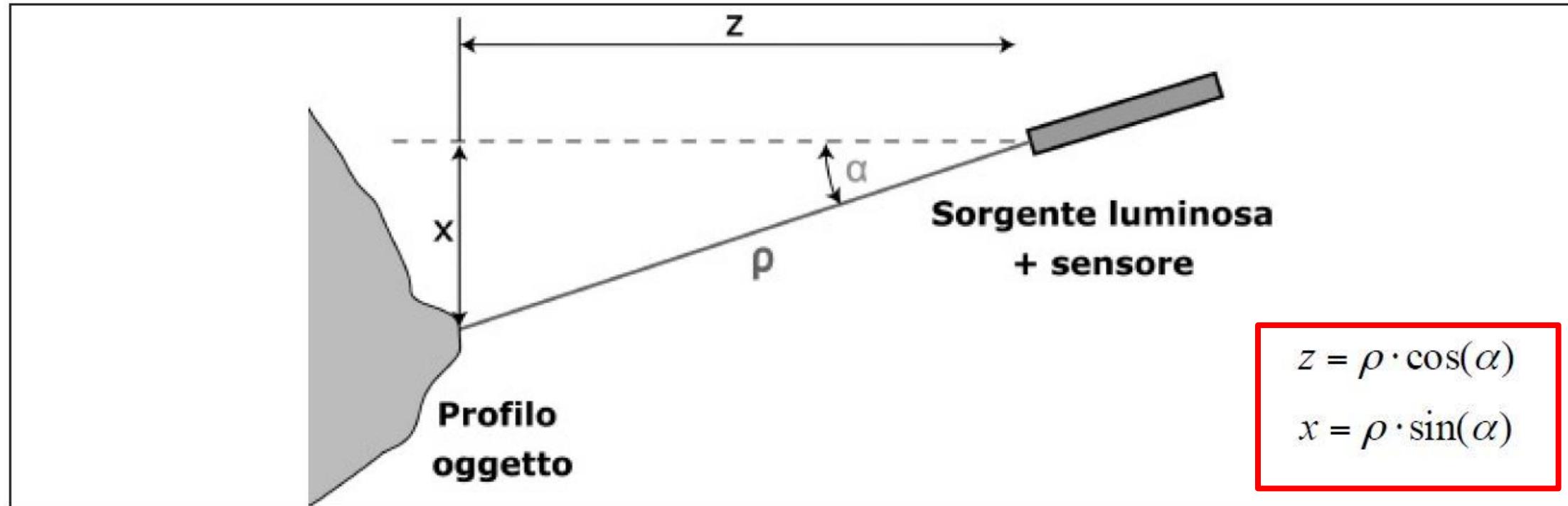


T.O.F. O TEMPO DI VOLO

Il laser scanner che impiega la tipologia di misurazione a tempo di volo (T.O.F. Time of Flight) emette un impulso laser a una frequenza pari a una decina di kHz, che dopo aver colpito il punto da rilevare, torna allo strumento stesso. In pratica calcola la distanza dall'oggetto rilevato, misurando il tempo di andata e ritorno dell'impulso laser inviato.

La misura del tempo intercorso fra l'emissione e la ricezione del raggio riflesso, l'angolo di inclinazione del raggio emesso rispetto all'asse verticale dello strumento e l'angolo azimutale del raggio emesso rispetto ad un asse orizzontale preso come riferimento costituiscono le coordinate sferiche che consentono l'individuazione tridimensionale dei punti rilevati. Le coordinate vengono in una prima fase fornite in un sistema di riferimento cartesiano, che ha origine in un punto dello strumento e che, successivamente può essere georeferenziato in termini assoluti o relativi, anche con un sistema GPS o stazione totale.

T.O.F. O TEMPO DI VOLO





T.O.F. O TEMPO DI VOLO

Siamo sempre alla presenza di sensori ottici attivi che, nel caso specifico, misurano l'intervallo di tempo tra due avvenimenti. In generale esistono due principi di funzionamento distinti: gli scanner basato sull'impulso del raggio laser (propriamente detti a "tempo di volo") e gli scanner basati sulla cosiddetta "differenza di fase". Nei sistemi a tempo di volo (TOF - Time Of Flight), siccome, come già detto precedentemente, la luce viaggia con una velocità finita e costante, è possibile misurare il tempo impiegato dalla luce durante il suo percorso (dalla fonte all'oggetto più il ritorno della riflessione dall'oggetto alla fonte) e, quindi, indirettamente la distanza della traccia del raggio laser sulla superficie da documentare rispetto al centro dello strumento stesso:

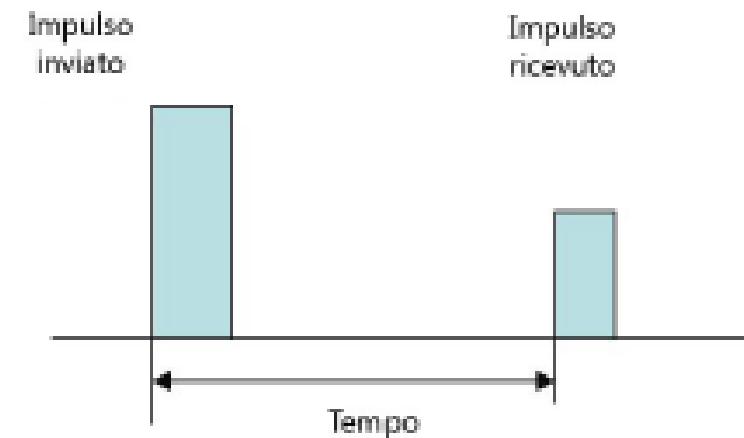
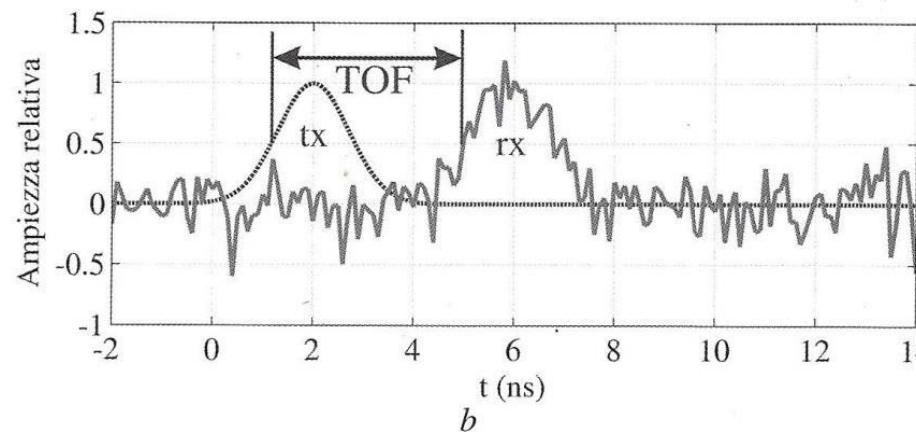
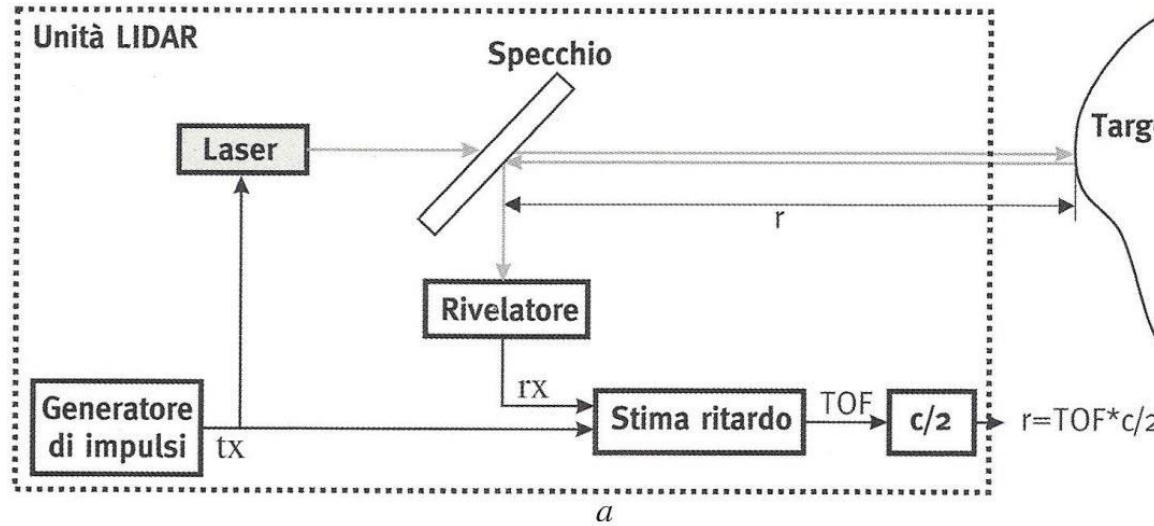
$$D = \frac{(c*t)}{2}$$

dove,

c è la velocità della luce;

t è il tempo necessario al segnale per il percorso di andata e ritorno.

DIFFERENZA DI FASE: MODULAZIONE AM



Per definire un istante preciso corrispondente all'arrivo dell'impulso si pone una soglia pari al 50% del massimo del segnale; il comando sarà considerato valido solo quando il segnale (sia tx che rx) supererà il valore della soglia prestabilita. Bisogna, inoltre, precisare che la distanza temporale tra i due impulsi determina la massima distanza utile al di sopra della quale, a seguito della lettura di valori in sequenza, si genererà un'ambiguità in distanza.



DIFFERENZA DI FASE: MODULAZIONE AM

Una volta raggiunto il bersaglio (fig. A.12 a) il raggio viene retrodiffuso verso il sensore che acquisisce la luce riflessa e la riconverte, tramite un rilevatore, sotto forma di segnale elettrico, quest'ultimo espresso come (a meno di una componente di rumore):

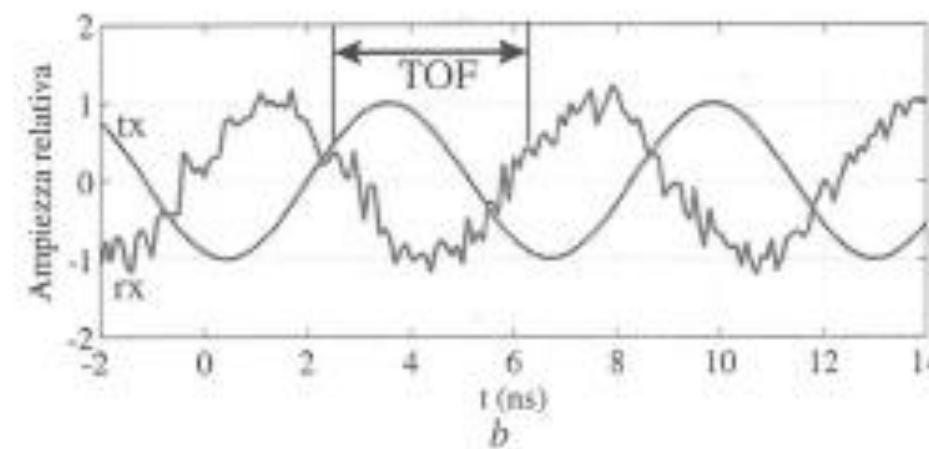
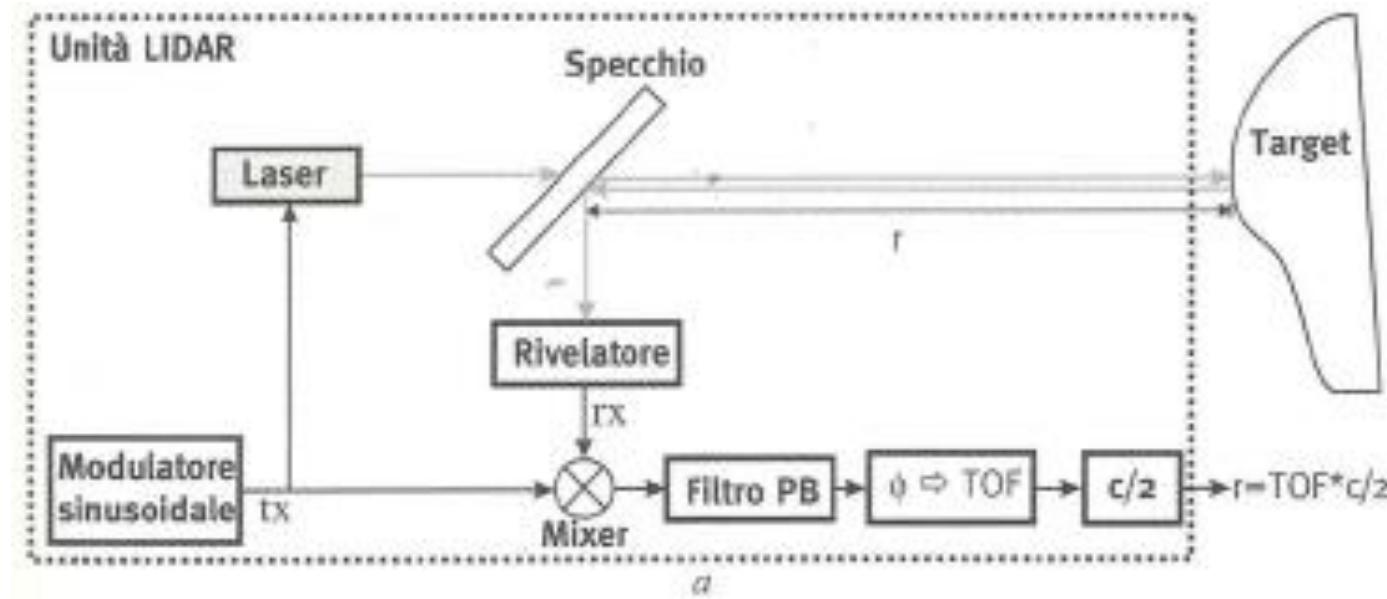
$$s_{rx}(t) = \cos(\omega_o t + \phi)$$

ovvero come una versione sfasata del precedente sistema TOF (fig. A.12 b). Se si esegue il prodotto tra i due segnali, ottenibili elettronicamente con un mixer, si genera un segnale del genere:

$$\cos(\omega_o t) \cdot \cos(\omega_o t + \phi) = \frac{1}{2} \cos(2\omega_o t + \phi) + \frac{1}{2} \cos(\phi)$$

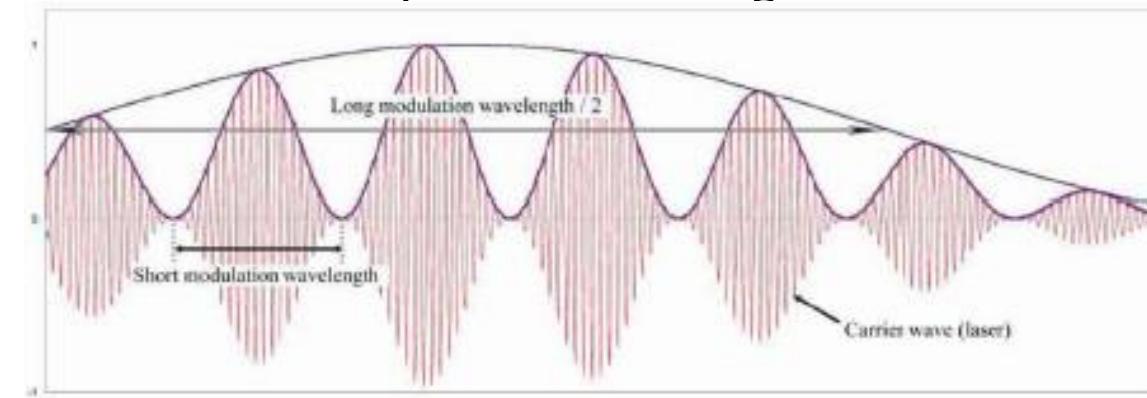
Il segnale precedentemente calcolato (prodotto dei segnali singoli) si trasmette periodicamente e lo sfasamento, quindi, non può eccedere un ciclo sinusoidale. Se, al contrario, la fase supera tale limite si genera un'ambiguità pari proprio ad un periodo del ciclo; pertanto più è breve la periodicità, ovvero maggiore la frequenza di modulazione f_0 , tanto minore sarà la distanza entro la quale si produce un'ambiguità

DIFFERENZA DI FASE: MODULAZIONE AM

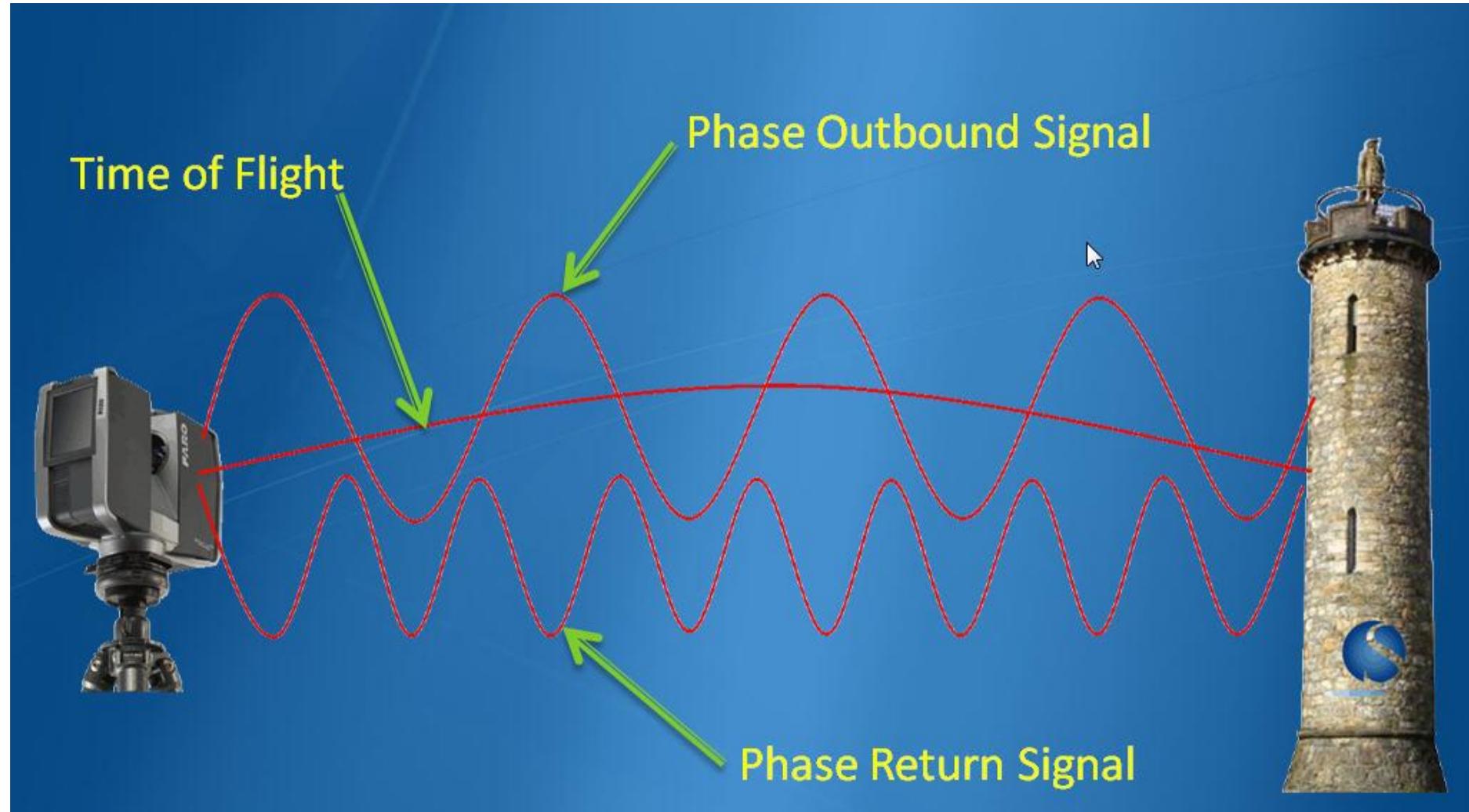


DIFFERENZA DI FASE: MODULAZIONE FM

La risoluzione spaziale, invece, risulterà tanto migliore quanto più grande sarà la frequenza di modulazione. Per ridurre i problemi di ambiguità in distanza, quindi, si procede impiegando una modulazione a frequenze diverse in modo da individuare approssimativamente la distanza con uno sfasamento su un ciclo o frazione dello stesso e poi, successivamente, raffinare le informazioni acquisite tramite frequenze progressivamente più elevate. Un'ulteriore forma di acquisizione prevede l'utilizzo di un'intensità luminosa alterata nel tempo secondo una modulazione in frequenza, o Frequency Modulation (FM), e la ricezione sarà basata su una demodulazione coerente. Tale sistema prevede un incremento lineare, in un certo intervallo di valori, della frequenza di modulazione (per il tramite di un diodo laser o modulatore acustico-ottico), generando un segnale noto con il nome di chirp (fig. A.13). Questa tecnica, può vedersi come un'estensione della precedente modulazione AM in cui le frequenze aumentano a dismisura e, quindi, di conseguenza aumenta in maniera decisa il range di ambiguità.



T.O.F VS DIFFERENZA DI FASE





PARTE III

- Principio di funzionamento di un TLS
- Cono d'ombra: definizione e calcolo
- True Color
- Allineamento delle scansioni
- Tipologia di Target
- Nuvola di punti
- Formati di esportazione più comuni
- Algoritmo ICP
- Allineamento mediante sfere e target
- TLS in commercio
- Mobile laser scanner
- LIDAR

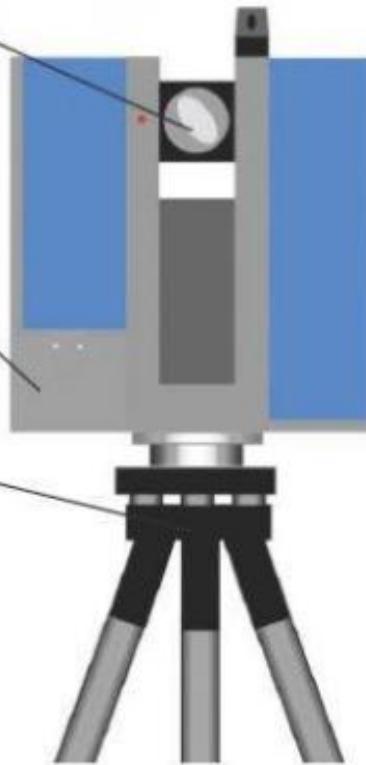
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Rotating mirror for 310° vertical scanning

Rotating device for 360° horizontal scanning

Changeable battery pack

Mounted onto the approved Wild/Leica tribrach system



Carrying handle

USB-interface

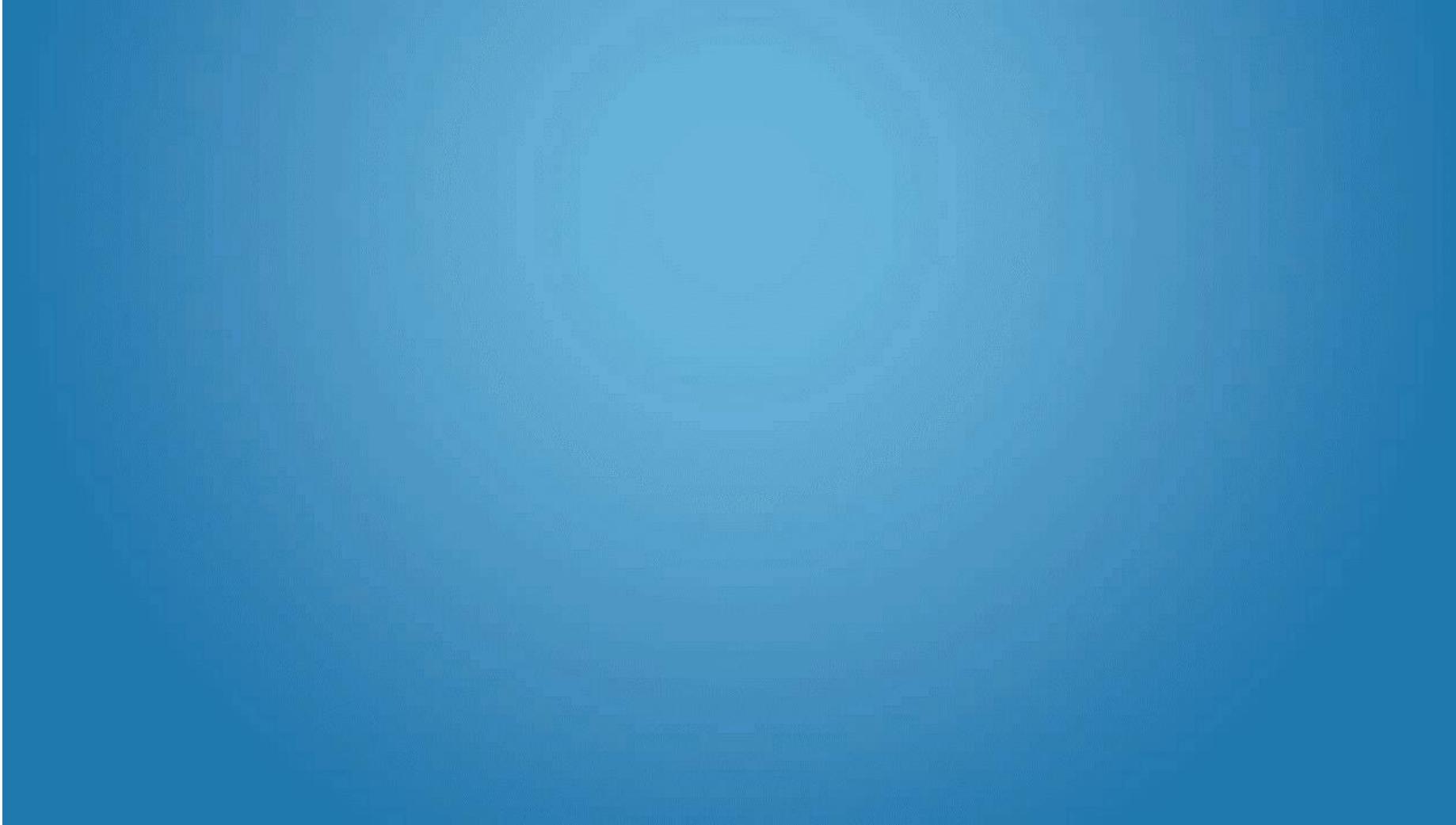
Keypad/display combination

External power supply and Ethernet at the non-rotating scanner base





PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

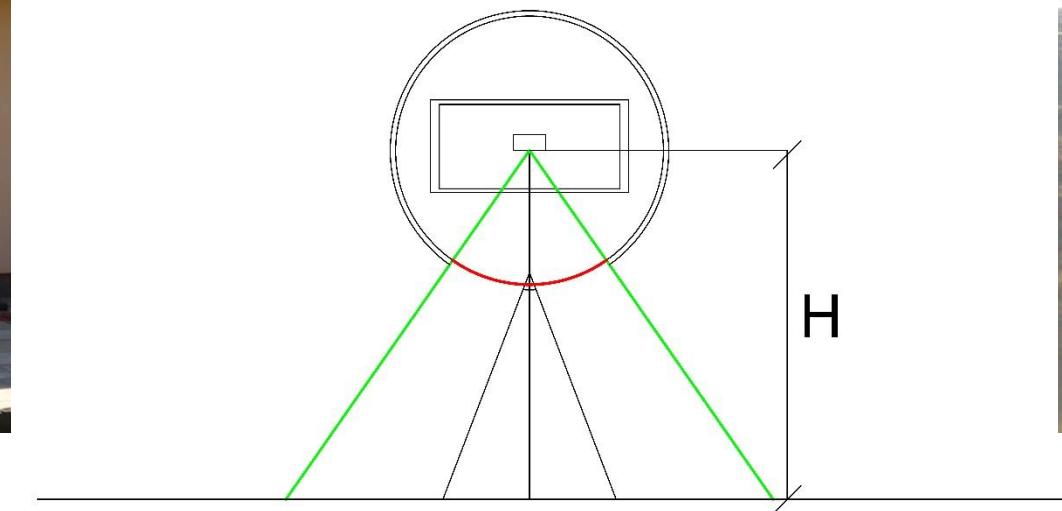
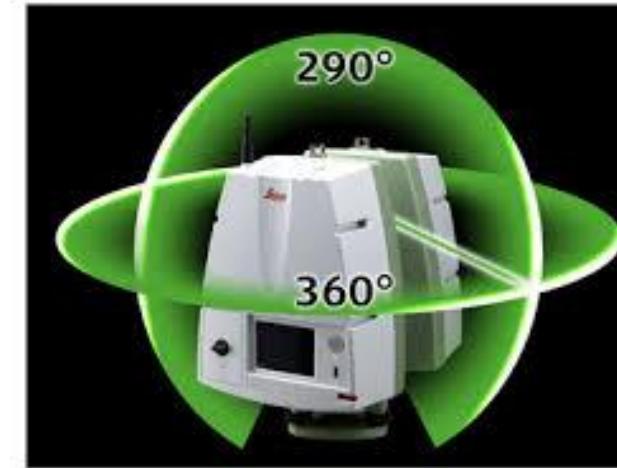


Fonte: https://www.youtube.com/results?search_query=faro+focus

SCANSIONI E ZONA D'OMBRA



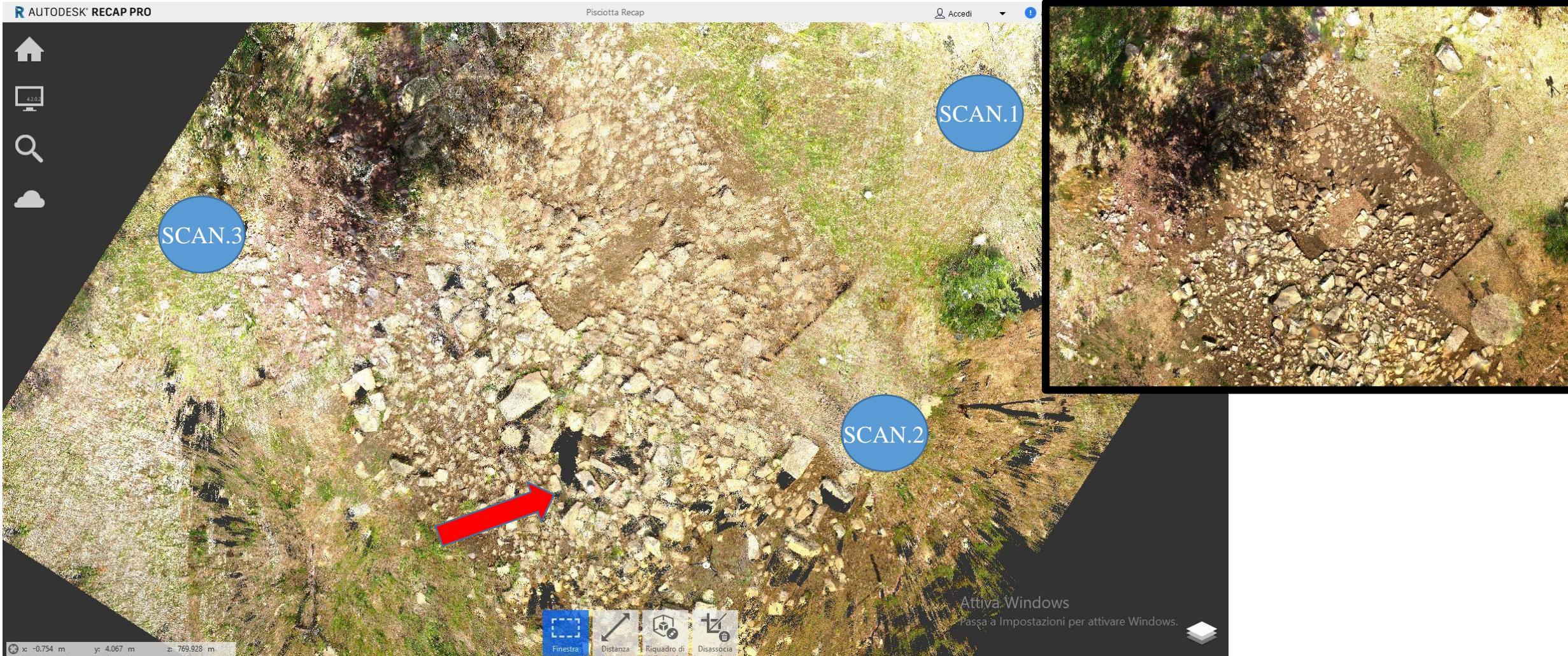
$$R_{\text{Cono D'ombra}} = 7 \text{ m}$$



$$R_{\text{Cono D'ombra}} = 0,84 \text{ m}$$



SCANSIONI E ZONA D'OMBRA





VALORE TRUE COLOR



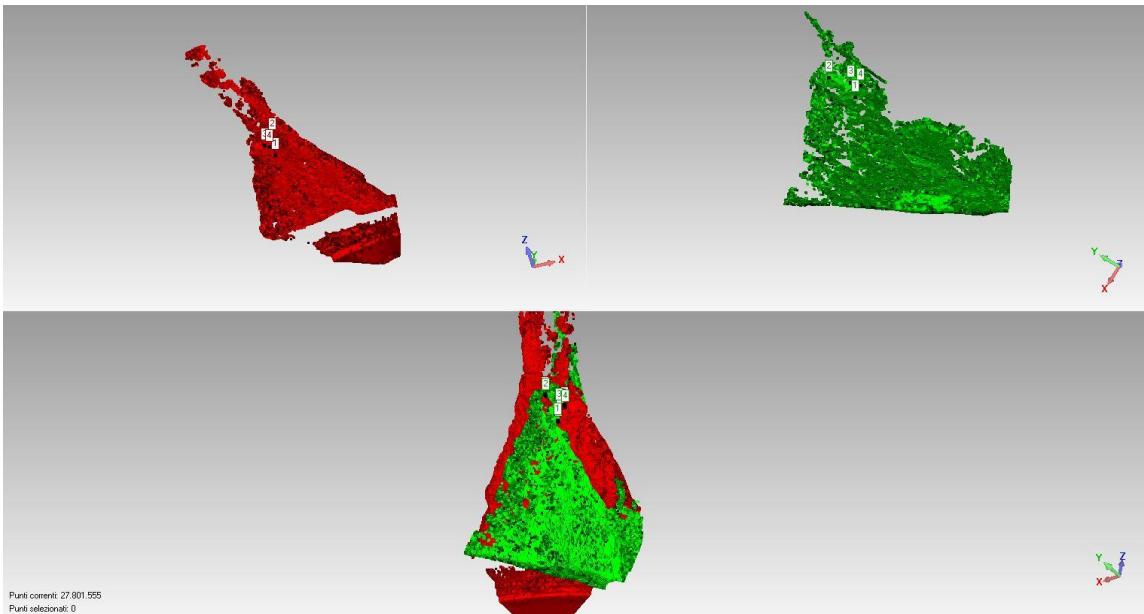
MIGLIORAMENTO DEL RISULTATO RGB: PANORAMICA ESTERNA



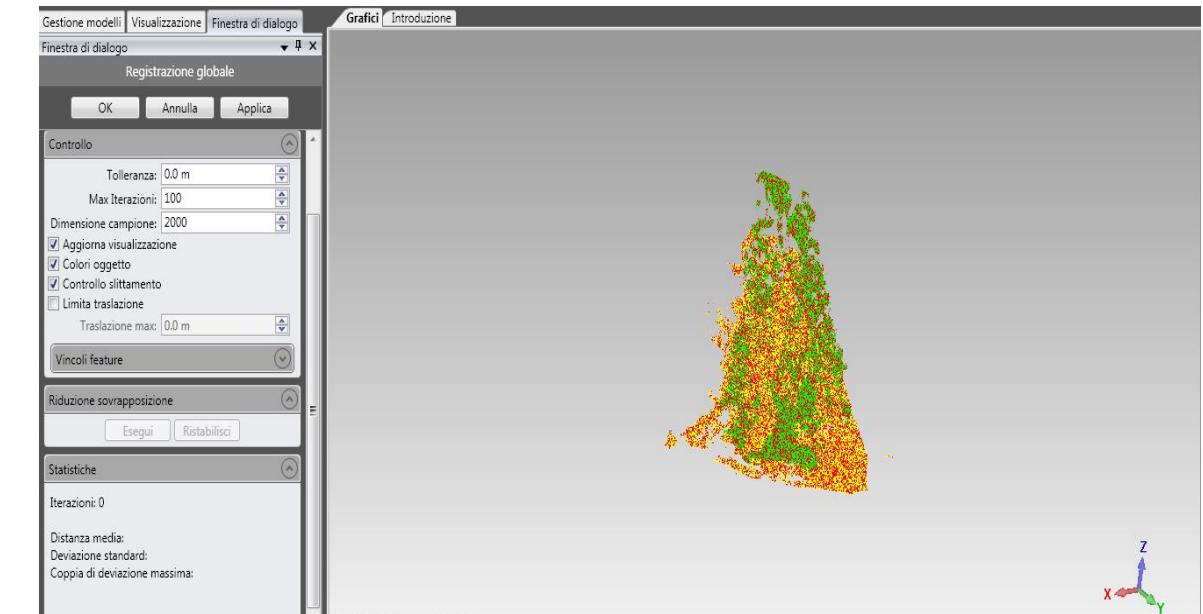


ALLINEAMENTO DELLE SCANSIONI

REGISTRAZIONE MANUALE

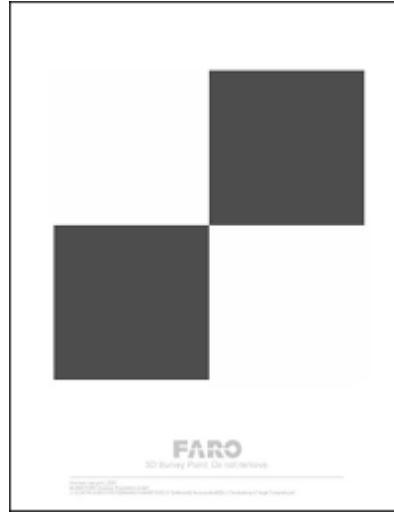


REGISTRAZIONE GLOBALE





TARGET



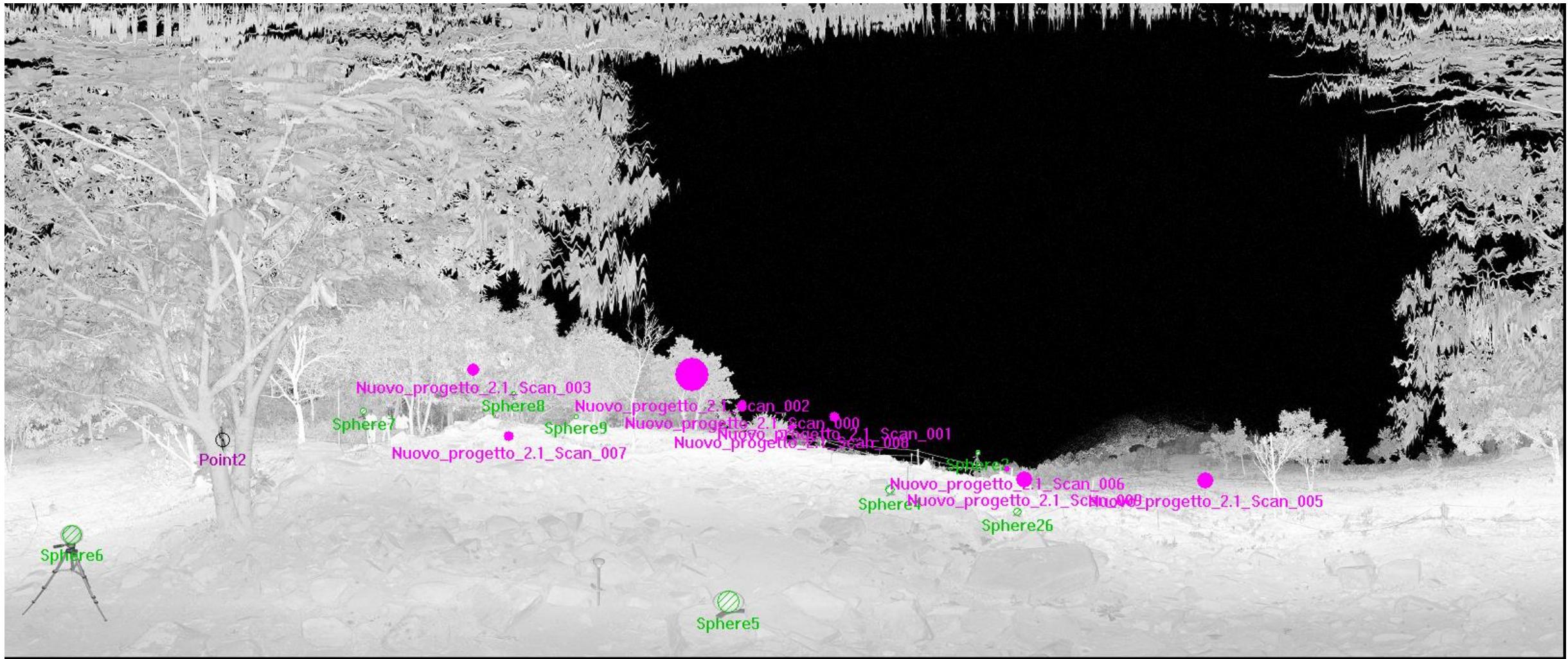
PIANI



SFERICI



TARGET





NUVOLA DI PUNTI

La nuvola di punti è il risultato del rilievo 3D eseguito tramite laser scanner. Essa rappresenta un modello tridimensionale dell'oggetto rilevato in cui sono note le coordinate di ciascun punto misurato. La densità dei punti è proporzionale al tempo di acquisizione e alla risoluzione dello strumento utilizzato.

La tecnologia del laser scanning consente, con diverse modalità, di acquisire digitalmente oggetti di varie dimensioni, in maniera automatica e non invasiva.

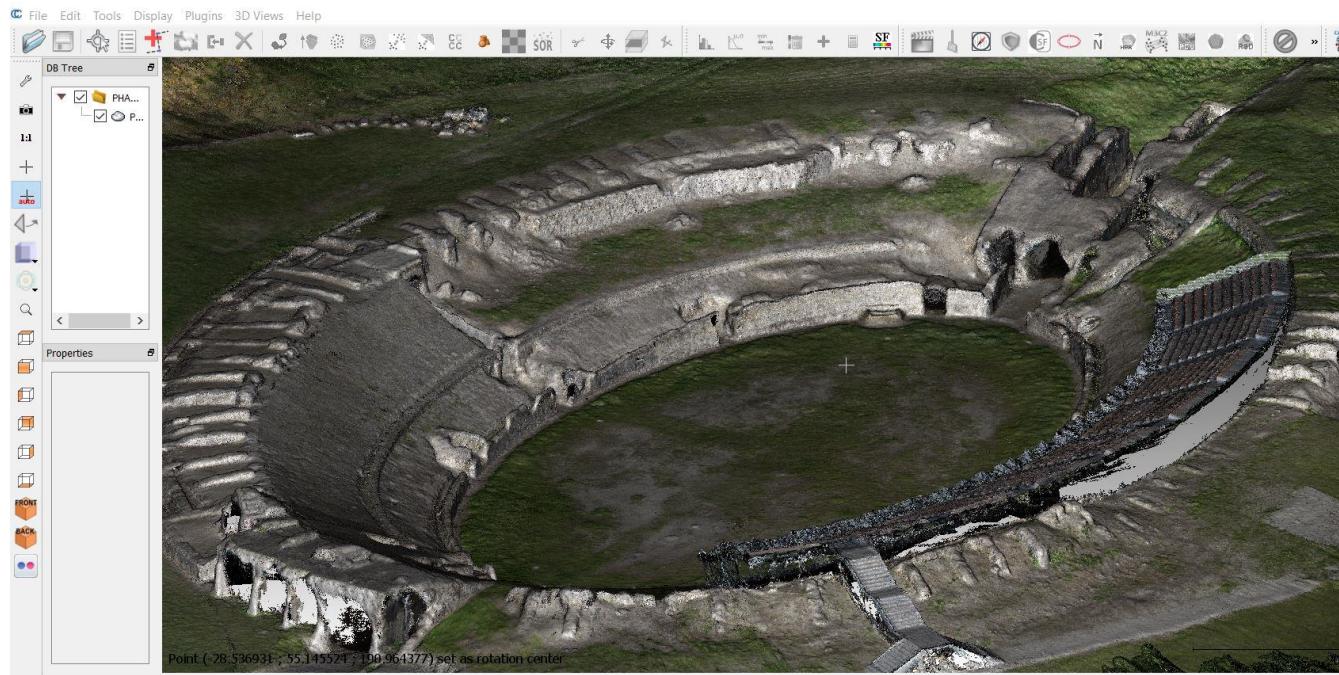
Il rilievo tridimensionale fornisce le tre coordinate del punto rilevato e il valore della *riflettanza*, che cambia a seconda della natura del materiale e dell'angolo di incidenza del raggio laser.

La riflettanza rappresenta la capacità dei corpi di riflettere il raggio laser; indica per ciascun punto di una superficie di materiale opaco, colpito da un raggio luminoso, il fattore di risposta,. Al valore 0 corrisponde riflettanza nulla: si riferisce a quei corpi che assorbono completamente il raggio laser senza rifletterlo, (i corpi neri per esempio) mentre il valore 255 sta ad indicare riflettanza massima.

Essendo quindi il rapporto tra intensità del flusso radiante riflesso e intensità del flusso radiante incidente, è una grandezza adimensionale.



FORMATI NUVOLA DI PUNTI: .PLY



```
ply
format ascii 1.0
comment VCGLIB generated
comment texturefile DOMIZIANO.jpg
element vertex 60228
property float x
property float y
property float z
property uchar red
property uchar green
property uchar blue
property uchar alpha
element face 118720
property list uchar int vertex_indices
property list uchar float texcoord
end header
4.91185 3.0320 -3.43221 92 89 90 255
4.9093 3.04506 -3.39158 98 95 96 255
4.90939 3.03216 -3.29475 100 98 100 255
4.89777 2.99451 -3.27776 96 95 99 255
4.90368 2.91268 -3.17438 96 94 98 255
4.89739 2.96676 -3.19025 95 94 96 255
4.88818 3.02755 -3.23221 93 93 96 255
4.91379 3.02921 -3.15691 93 92 91 255
4.90412 3.05786 -3.19605 94 93 95 255
4.90413 2.91073 -3.08991 100 99 103 255
4.90153 2.92741 -3.0134 101 100 103 255
4.89527 2.91072 -3.05664 101 102 105 255
4.85596 2.87776 -2.93718 96 99 102 255
4.90330 2.90994 -3.11545 96 94 94 255
4.87731 2.93622 -2.94576 96 96 98 255
4.90724 3.00254 -3.03691 96 94 92 255
4.89811 2.90334 -3.00455 97 97 96 255
4.89364 2.90496 -2.88278 103 102 102 255
4.88538 2.89093 -2.82304 108 107 111 255
4.89393 3.00325 -2.91383 99 98 96 255
4.90865 2.97968 -2.82687 105 102 102 255
4.89125 2.95083 -2.87664 101 98 97 255
4.90114 2.94361 -2.76842 109 108 109 255
4.86457 2.77145 -2.77266 98 95 97 255
4.86306 2.83061 -2.83854 102 103 107 255
4.86566 2.78807 -2.7333 95 92 93 255
4.8706 2.77912 -2.66609 92 91 93 255
4.88788 2.78971 -2.62348 93 92 92 255
4.85798 2.7593 -2.57265 95 94 97 255
4.8439 2.76544 -2.52108 97 95 97 255
4.877 2.85481 -2.7619 99 97 99 255
```



FORMATI:

<u>BIN</u>	.bin	CloudCompare own format	X	X	binary	>1	>1	>1	Normals, colors (RGB), scalar fields (>1), labels, viewports, display options, etc.
<u>ASCII</u>	.asc,.txt,.xyz,.ne u,.pts	ASCII point cloud file (X,Y,Z,etc.)	X	X	ASCII	1			Normals, colors (RGB), scalar fields (all)
<u>LAS</u>	.las	ASPRS lidar point clouds	X	X	binary	1			Colors (RGB) and various scalar fields (see LAS 1.4 specifications)
<u>E57</u>	.e57	Bentley file format	X	X	mixed	>1	Calibrated picture(s)	Normals, colors (RGB or I), scalar field (intensity)	



PRINCIPI DI LASER SCANNING 3D

FORMATI:

PTX	.ptx	LEICA point cloud export format	X		ascii	>1		Sensor(s)	Robust normals can be computed at loading time
FARO	.fls, *.fws	formats	X		binary	>1		Sensor(s)	scalar field (reflection value)
DP	.dp	DotProduct (DPI-7) format	X		binary	>1		Sensor(s)	Colors (RGB), robust normals can be computed at loading time
PCD	.pcd	PoInt Cloud Data format	X	X	binary	>1			Colors (RGB), normals, scalar fields (>1)
PLY	.ply	standard 3D geometry format (cloud or mesh)	X	X	both	1	1		Normals, colors (RGB or I), one ore several scalar fields, a single texture



PRINCIPI DI LASER SCANNING 3D



FORMATI:

OBJ	.obj	Wavefront mesh	X	X	ASCII	1	>1	Polyline(s)	Normals, materials and textures
VTK	.vtk	VTK file format (triangular mesh or cloud only)	X	X	ASCII	1	1		Normals, colors (RGB), scalar field(s) (>1)
STL	.stl	STereoLithographY file format (mesh)	X	X	ASCII		1		Normals
OFF	.off	Object File Format (mesh)	X	X	ASCII		1		
FBX	.fbx	Autodesk 3D Studio FBX File Format	X	X	ASCII or BINARY	>1	>1		Normals, colors (RGB), materials and textures
DXF	.dxf	Autodesk DXF format	X	X	ASCII	>1	>1	Polyline(s)	Normals, colors (RGB)



FORMATI:

Il formato PLY è uno dei formati usati in computer grafica per la definizione di oggetti 3D. Questo formato descrive un oggetto come un insieme di vertici, facce e proprietà che possono essere memorizzate con l'oggetto ovvero: colore, normali della superficie, coordinate della texture, trasparenza etc... Il formato di file ha due sotto-formati: una rappresentazione ASCII , e una versione binaria per lo stoccaggio compatto di dataset. Questa è la struttura di un file PLY:

Formato	1) ascii 1.0 1) binary_little_endian oppure binary_big_endian	1) per dati salvati come testo 1) per dati con codificazione binaria
comment	VCGLIB generated	ovvero creato con il Visualization and Computer Graphics Library (VCG in breve) una library open source C++ per la trasformazione e la visualizzazione con OpenGL di mesh (con questa è stato sviluppato meshlab).
element vertex		
element vertex	60228	Numero di vertici
property float x	4.91185	Coordinata X (del primo punto)
property float y	3.0328	Coordinata Y (del primo punto)
property float z	-3.43221	Coordinata Z (del primo punto)
property uchar red	92	Valore di R (del primo punto)
property uchar green	89	Valore di G (del primo punto)
property uchar blue	90	Valore di B (del primo punto)
property uchar alpha	255	Alpha (del primo punto)
element face	118720	Numero di facce

Attiva Windows



ALGORITMO ICP

L'algoritmo ICP è la procedura che consente di allineare ed unire le singole acquisizioni in una unica nuvola di punti secondo un determinato sistema di riferimento (locale o globale). Esso consente di allineare le parti comuni di scansioni adiacenti attraverso la minimizzazione della distanza tra esse, a volte anche tramite l'ausilio di punti di controllo materializzati mediante target artificiali. Va sottolineato che la precisione ottenibile mediante algoritmi surface matching (come l'ICP) è generalmente migliore di quella ottenibile mediante soli punti di controllo.

L'ICP fu presentato da Besl nel 1992. Questo algoritmo permette di trovare iterativamente una matrice di rototraslazione ottima tra due nuvole di punti $p_i \in P$ e $q_j \in Q$, minimizzando l'errore tra le aree sovrapposte. La struttura dell'algoritmo può essere suddivisa in quattro fasi: la prima è detta di Selection, ovvero dove viene estratto un sottoinsieme di punti dalle due nuvole; la successiva è detta Correspondence Estimation: dove vengono calcolate le corrispondenze tra le nuvole P e Q ; la terza fase è quella di Correspondence Rejection: dove vengono scartati gli outsider, e infine la fase di Transformation Estimation: dove vengono calcolati e assegnati i parametri di trasformazione che minimizzano la distanza tra le due nuvole P e Q .



ALGORITMO ICP

Mentre la fase di Selection viene effettuata un'unica volta durante lo sviluppo dell'algoritmo, le ultime tre vengono ripetute iterativamente. Il risultato tipicamente converge ad una trasformazione ottima desiderata, con un minimo globale. Può succedere nell'ottimizzazione dell'ICP che se le nuvole di punti sono solo parzialmente sovrapponibili, l'algoritmo possa convergere ad un minimo locale inesatto portando così ad un allineamento non corretto. Per questo sono necessari metodi per scartare le false corrispondenze in modo da evitare minimi locali e migliorare la convergenza. Inoltre se la nuvola è già allineata in modo grezzo, l'ICP risulta spesso un algoritmo efficiente e robusto per raffinare l'allineamento tra nuvole di punti.

L'algoritmo ICP non funziona bene quando la densità delle nuvole di punti (N. Punti/superficie) è differente tra le differenti scansioni (per esempio fotogrammetria e TLS).

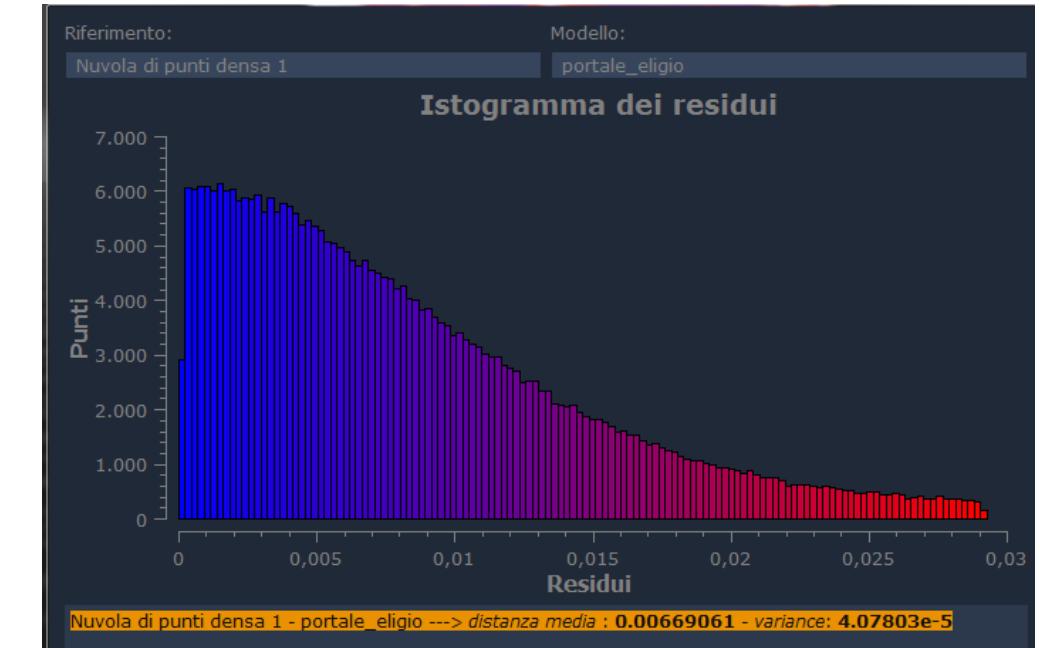
ALLINEAMENTO CON ICP



Nuvola di Punti
Laser Scanner:
21.000.000



Nuvola di Punti
Fotogrammetrica:
952.000

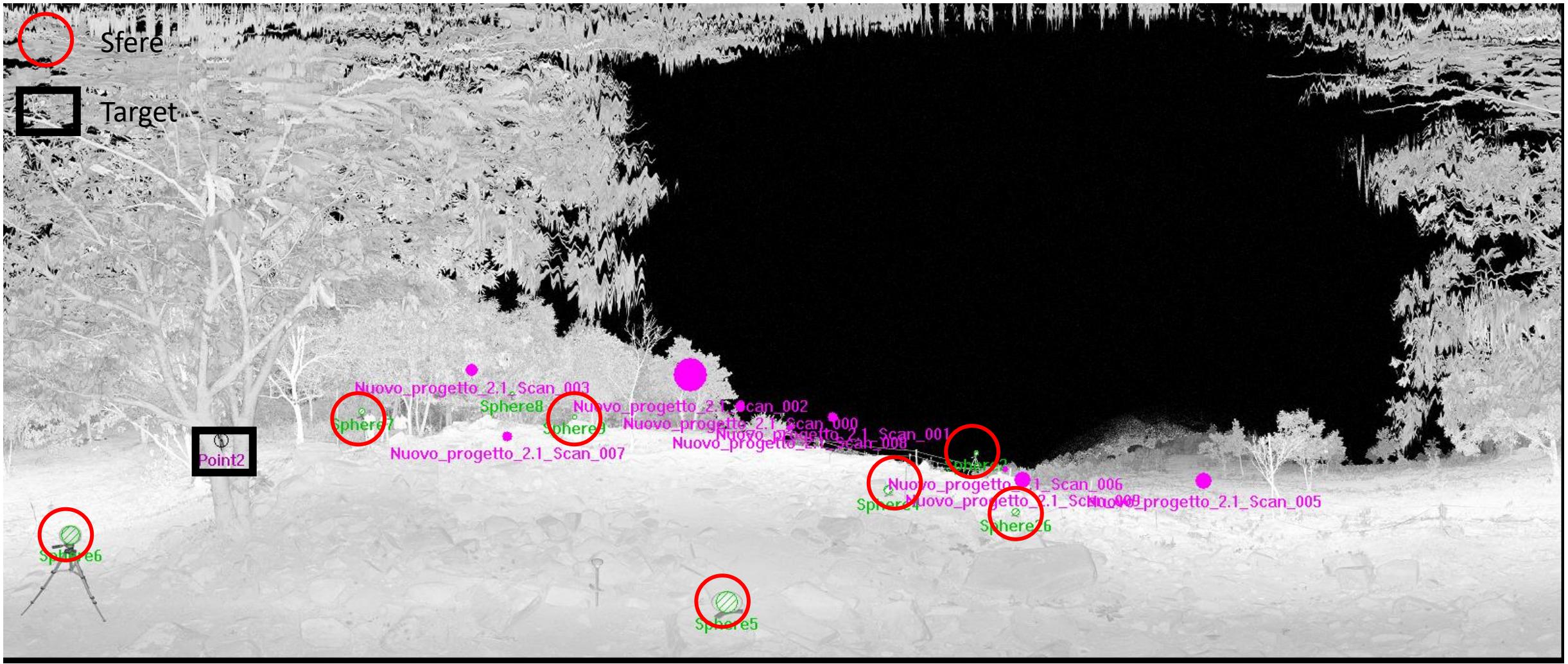


ALLINEAMENTO CON SFERE E TARGET





ALLINEAMENTO CON SFERE E TARGET



SENSORI ATTIVI

**FARO X330 HDR**

fino a 976.000 p/s
Range 0.6 a 330 m
Differenza di Fase

**Zoller+Fröhlich
Imager® 5010**

fino a 1 016 000 pt/s
Range: 0.6 a 187 m
Differenza di Fase

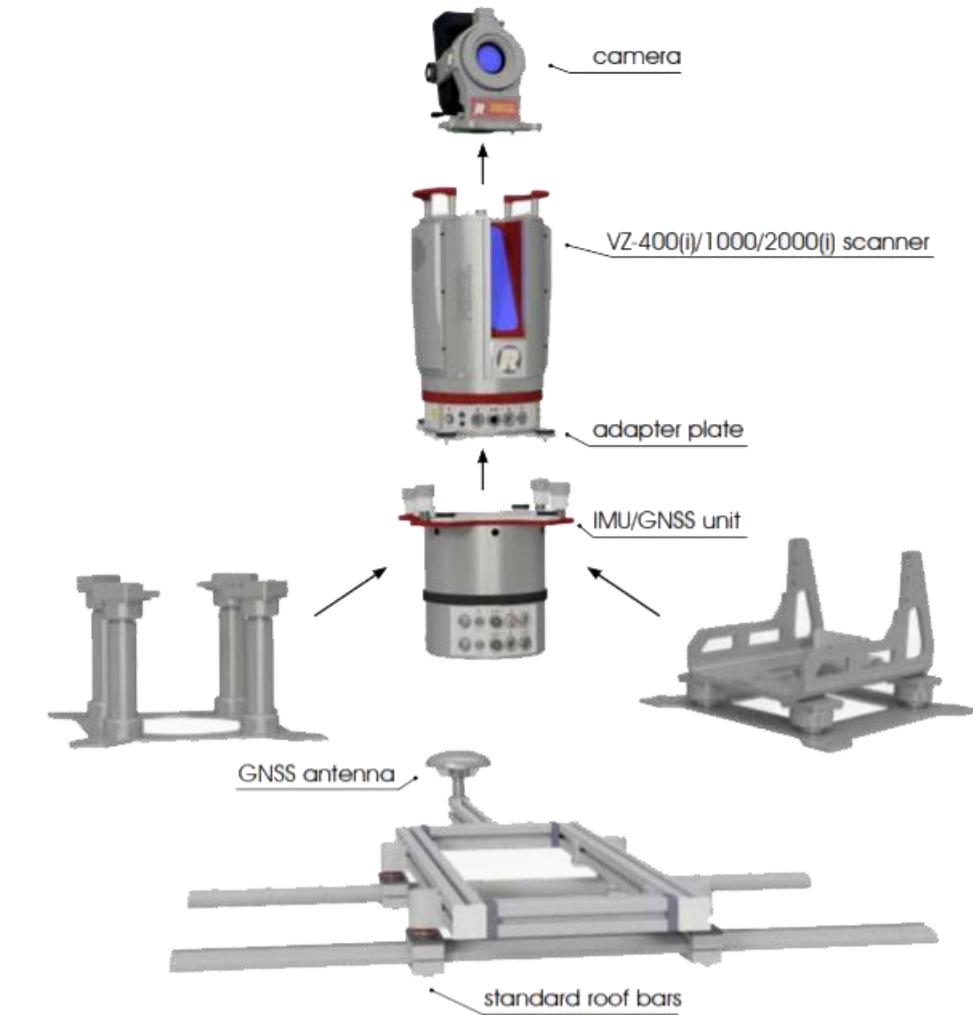
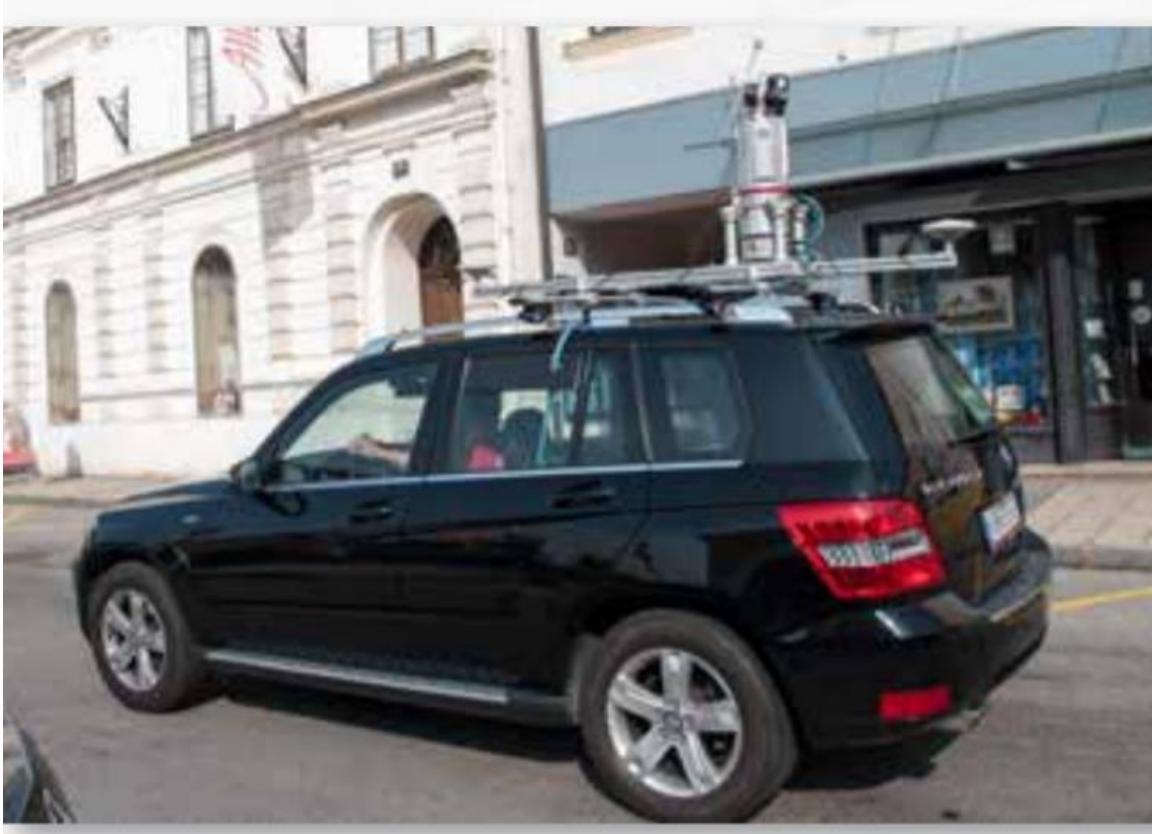
**RIEGL VZ-6000**

fino a 222,000 p/s
Range fino a 6000m
TOF

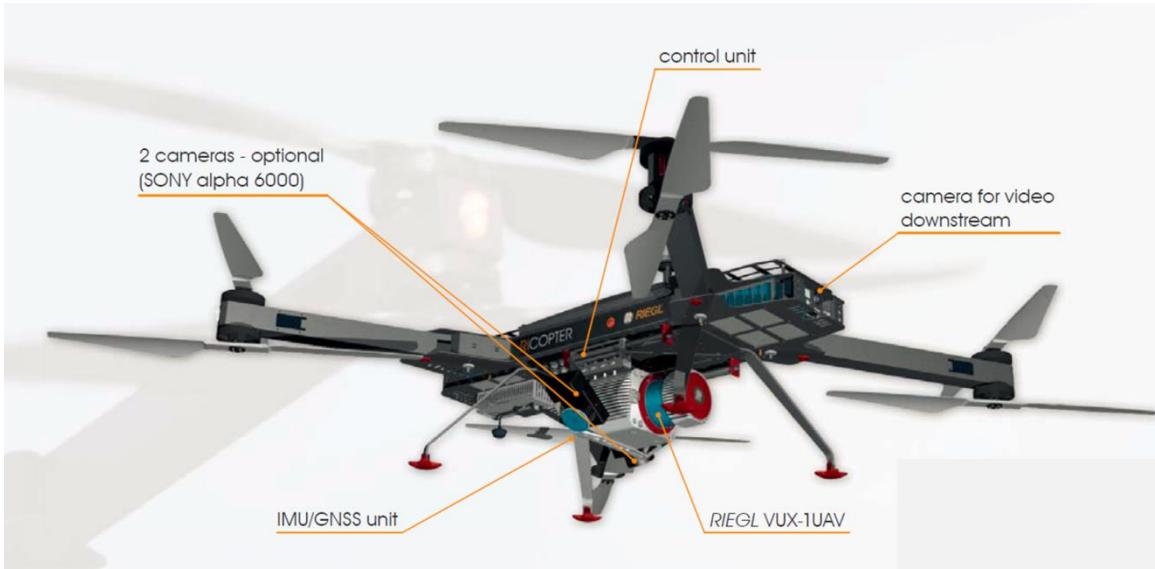
**Leica BLK 360**

fino a 360.000 pt/s
Range: 0.6 a 60 metri
TOF

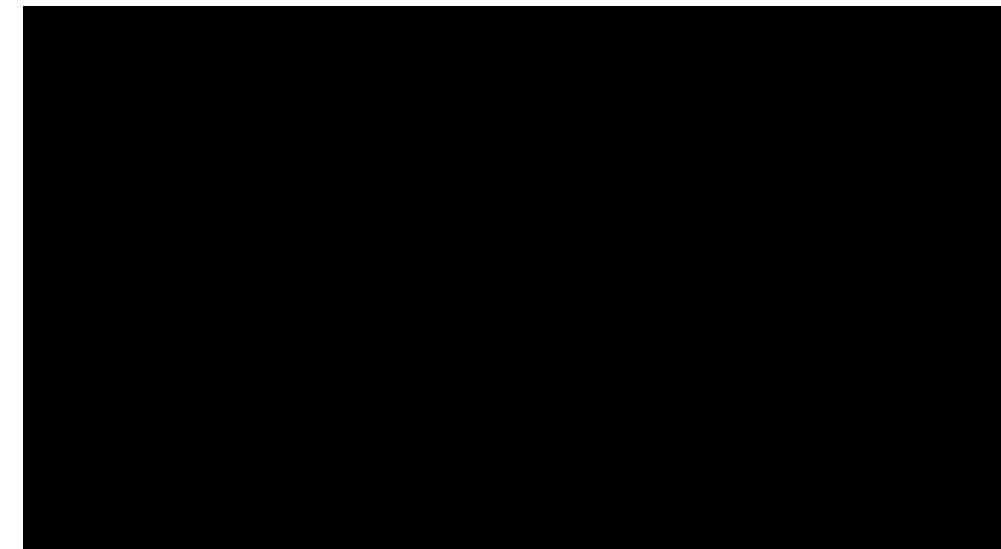
MOBILE LASER SCANNER



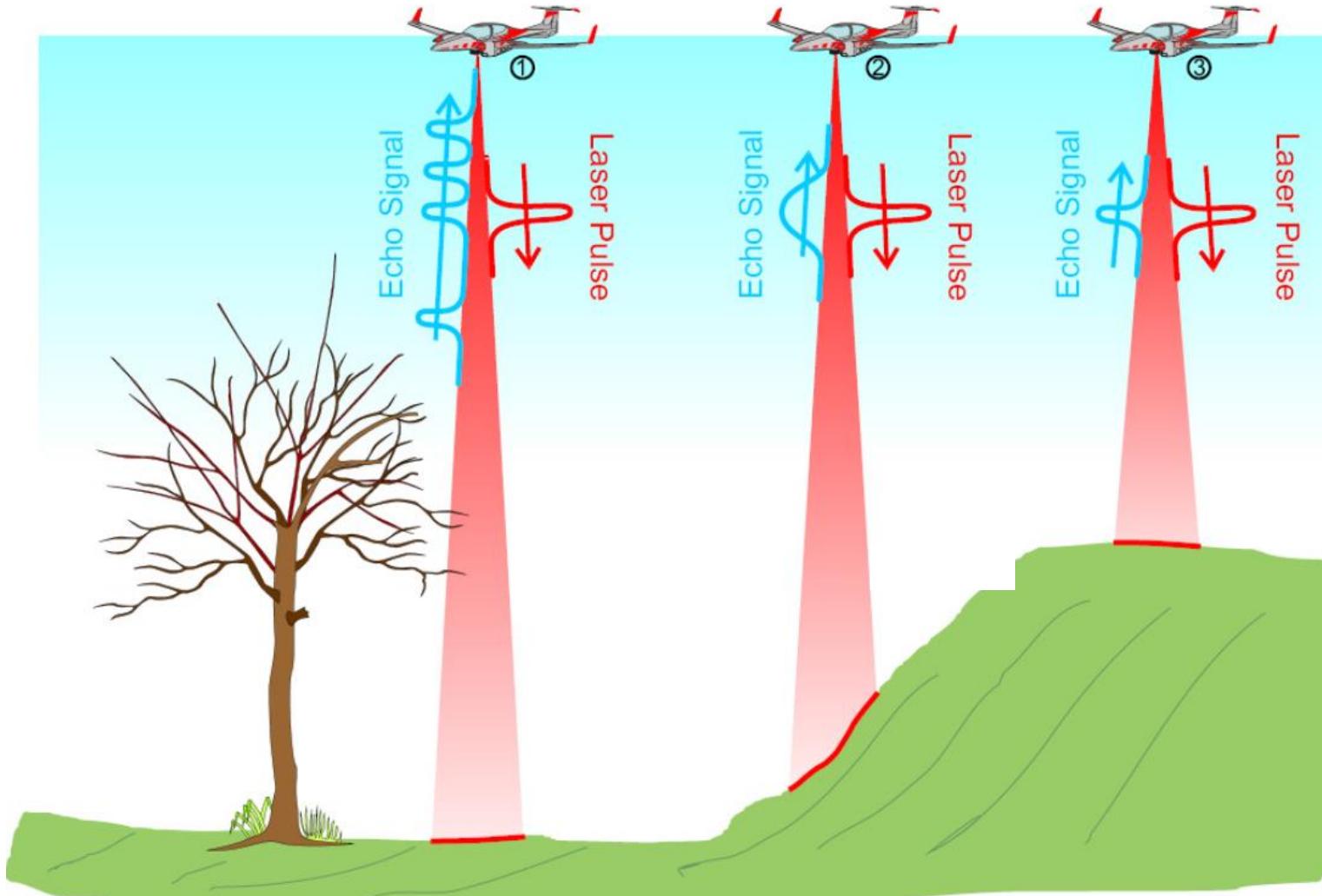
LIDAR



Main Features	Main Applications
<ul style="list-style-type: none">high performance X-8 array foldable octocopterpayload weight 16 kg (sensors and power supply)Maximum Take-off Mass (MTOM) 25 kgflight endurance with maximum load 30 minutesmax. operating altitude AMSL (Above Mean Sea Level) of up to 3000 m (10,000 ft)cushioned landing legs and shock-absorbing undercarriage for stable flights and save landingsfoldable propeller carrier arms, integrated carrying handle, and special box for transportation	<ul style="list-style-type: none">precision Agriculturetopography in Open-Cast Miningterrain and Canyon Mappingsurveying of Urban Environmentsarchaeology and Cultural Heritage Documentationconstruction-Site Monitoringcorridor Mapping: Power Line, Railway Track, and Pipeline Inspection



LIDAR





PARTE IV

- Point Cloud Processing Software
- Autodesk Recap
- Faro Scene
- Leica Cyclone
- CloudCompare
- MeshLab
- Applicazione Laser Scanner nel monitoraggio delle strutture: Galleria FS
- Applicazione Laser Scanner nel dissesto idrogeologico: Conoide Alluvionale



POINT CLOUD PROCESSING SOFTWARE

Un software per l'elaborazione di nuvole di punti viene utilizzato per scaricare uno o più file di scansione da uno scanner, pulire i punti in eccesso (cielo, vegetazione, oggetti in movimento ecc...), registrare (unire) le scansioni in un'unica nuvola di punti e preparare i dati della nuvola di punti per l'elaborazione successiva (es. eventuale modello poligonale). Tipicamente effettuare le scansioni è abbastanza facile, ma a volte il post-processamento delle nuvole di punti richiede un *training* sostanziale per garantire che nessuna perdita di accuratezza sia fatta da errori umani.



AUTODESK RECAP



La versione gratuita di Autodesk ReCap può elaborare scansioni laser in nuvole di punti laser e panorami che possono essere visualizzati nel visualizzatore di ReCap. ReCap 360 e ReCap 360 Ultimate possono inoltre importare foto di telecamere digitali in nuvole e mesh di punti stimati.

Compatibilità: Con la maggior parte degli scanner laser e prodotti Autodesk. Prezzo interessante. Semplice da usare. Funzionalità cloud to cloud (ICP), possibilità di miglioramento dell'allineamento con target piani e sferici.

L'esportazione di nuvola di punti è ottimizzata per i programmi Autodesk; ReCap è un ottimo strumento per il passaggio all'interno di prodotti Autodesk suite (Revit, Civil, AutoCad).



FARO SCENE

Descrizione FARO SCENE è un software di editing di nuvole di punti che CAM2 pacchetti con i suoi scanner. Il software è facile da usare, efficace per molte scansioni ottimi strumenti per registrazione e modifica. Costo \$ 10.000 / posto (gratuito con l'acquisto di uno scanner CAM2) Compatibilità FARO SCENE è compatibile con gli scanner FARO Focus; Inoltre, SCENE può importare il formato E57 più esportazione di scanner per un'ampia gamma di compatibilità. SCENE supporta il riconoscimento cloud-to-cloud, quindi le scansioni possono essere registrato automaticamente da punti comuni piuttosto che avere registrarsi manualmente usando sfere e cartelli (tuttavia è comunque buona norma usare le sfere e i cartelli nel caso in cui il cloud to cloud fallisce, quindi non è necessario ripetere il viaggio). Contro SCENE supporta le esportazioni di CAM2 meglio e talvolta può avere problemi con la "piena compatibilità" di altri scanner. Alcuni le esportazioni da scanner Leica in formato E57 non sono riuscite importa correttamente. Conclusioni SCENE è un software di facile utilizzo e all'avanguardia per l'elaborazione scansioni. È una scelta eccellente per l'uso con uno scanner FARO, soprattutto perché è gratuito con l'acquisto di a scanner.





LEICA CYCLONE

Descrizione Cyclone è la suite Leica per la gestione delle nuvole di punti. Il suite f
registrazione delle nuvole di punti Leica, elaborazione in modelli CAD o BIM e misur
rilievo estrazione. Cyclone può anche importare nuvole di punti generate da altri
Pubblicazione, collaborazione e importazione esistono toolkit per ottimizzare il flusso di lavoro.
Costo <\$ 10.000 (contattare Leica).



Compatibilità Leica Cyclone può importare scansioni da Leica e FARO scanner.

Fornisce l'ambiente più performante per il laser scansione di progetti. Semplifica la gestione dei dati
da parte degli utenti efficientemente nei database. Il componente Publisher consente
facile distribuzione dei modelli BIM per la misurazione, l'etichettatura e recensione da parte di altri
utenti. Cyclone include anche un modello di tubazioni che consente l'inserimento di flange, valvole,
riduttori, ecc può essere collegato alle specifiche.

Contro Limitazioni durante la modellazione di nuvole di punti complicate comprendono un numero
di forme irregolari. Formazione la documentazione è difficile da trovare.

Conclusioni Cyclone è il set di strumenti con le prestazioni più elevate per l'elaborazione
progetti di scansione laser, ma anche complessi e difficili da usare.



CLOUDCOMPARE

Descrizione CloudCompare è uno strumento gratuito per l'elaborazione dei dati della nuvola di punti raccolti da scansioni.

Senza costi

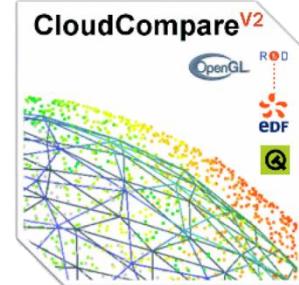
Compatibilità CloudCompare supporta un'ampia varietà di importazioni, da PTX, PTY, OBJ, E57, PCD e DP.

Pro CloudCompare è molto stabile rispetto a Meshlab.

La compatibilità di CloudCompare è molto buona.

Contro CloudCompare non ha tanti filtri o strumenti quanti MeshLab.

Conclusione CloudCompare è più stabile e un'ottima soluzione per una cattura tutta l'importazione di dati nuvola di punti.





MESHLAB

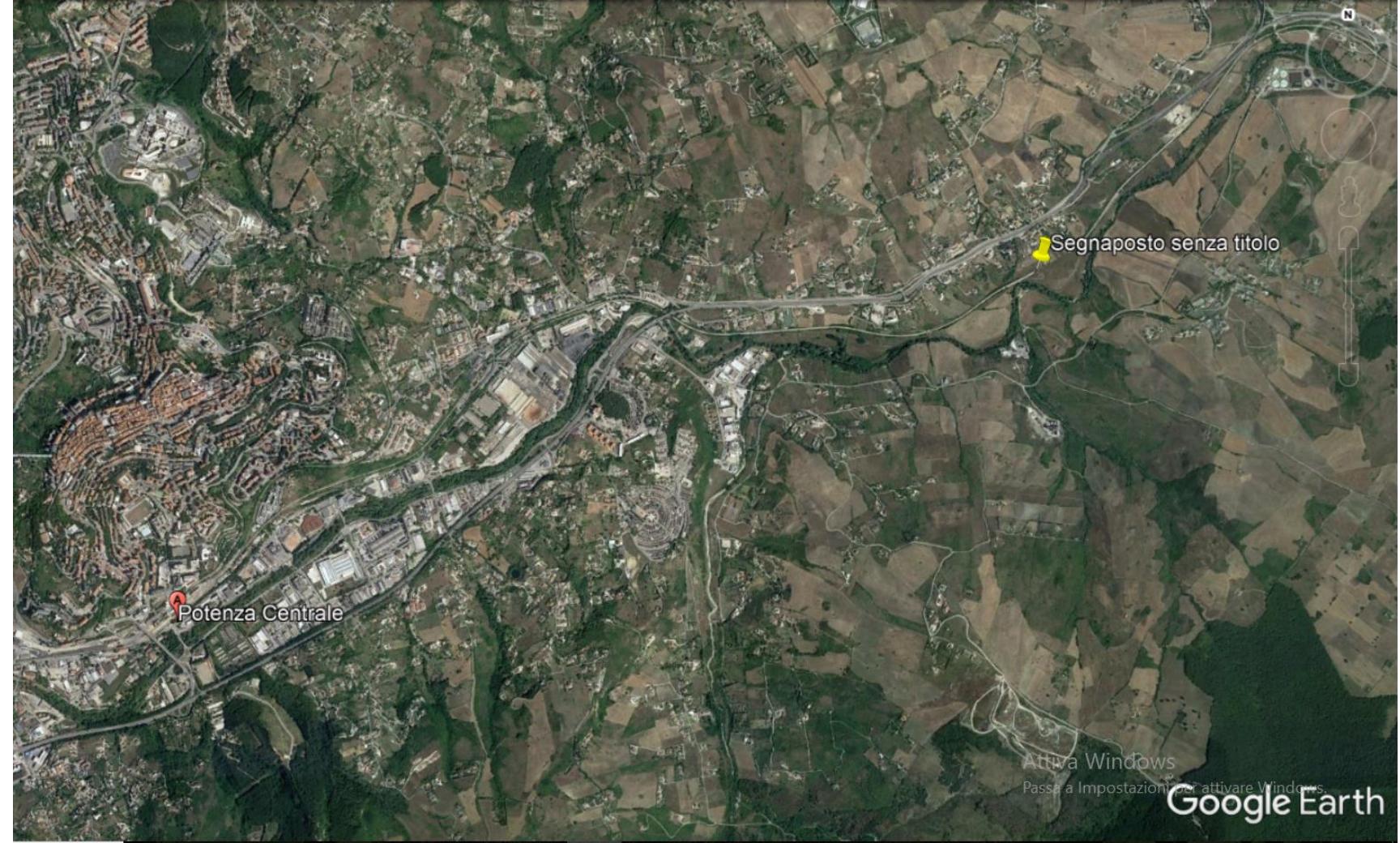
Descrizione Meshlab è un programma open source gratuito per il punto di elaborazione nuvole. Il programma supporta i filtri per la riduzione dei punti e la capacità di tagliare i punti estranei.

Senza costi Compatibilità Importa PLY, OBJ, XYZ e XYZRGB.

Meshlab è gratuito e utile per visualizzare e modificare il punto nuvole. Contro Meshlab ha un'interfaccia utente poco amichevole ed è soggetto a crash. Conclusione Meshlab è un ottimo strumento per la modifica della nuvola di punti liberi da preparare post produzione; tuttavia, lo strumento fornito dallo scanner società (Cyclone, RealWorks, SCENE) è più amichevole e più facile da usare.



CASO STUDIO: GALLERIA FS

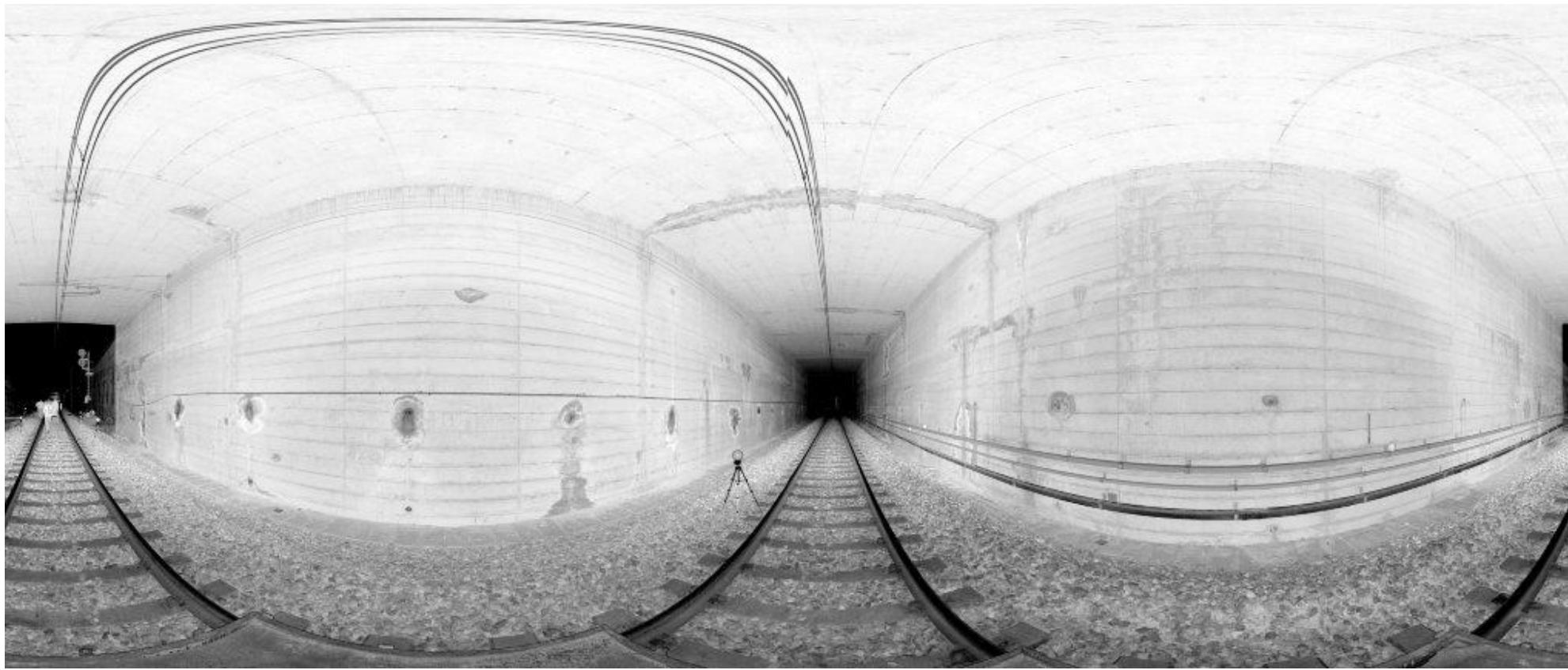


CASO STUDIO: GALLERIA FS



Lunghezza : circa 220 m
Larghezza: circa 8 m
Tempo a disposizione per il rilievo: 2h

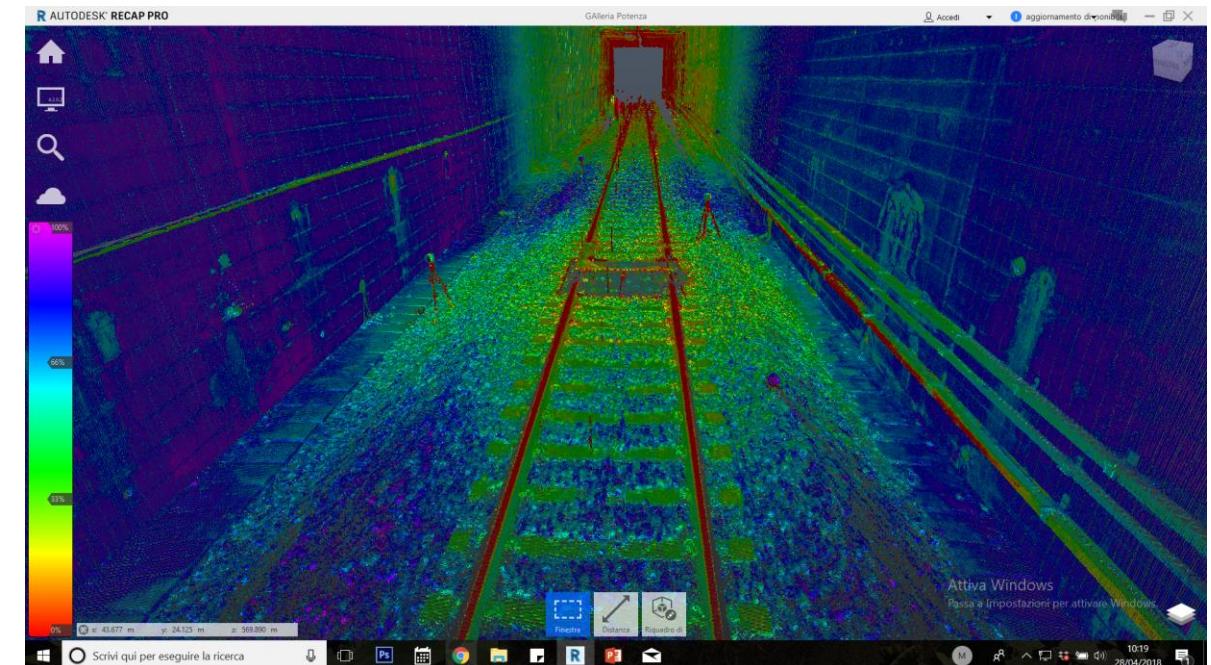
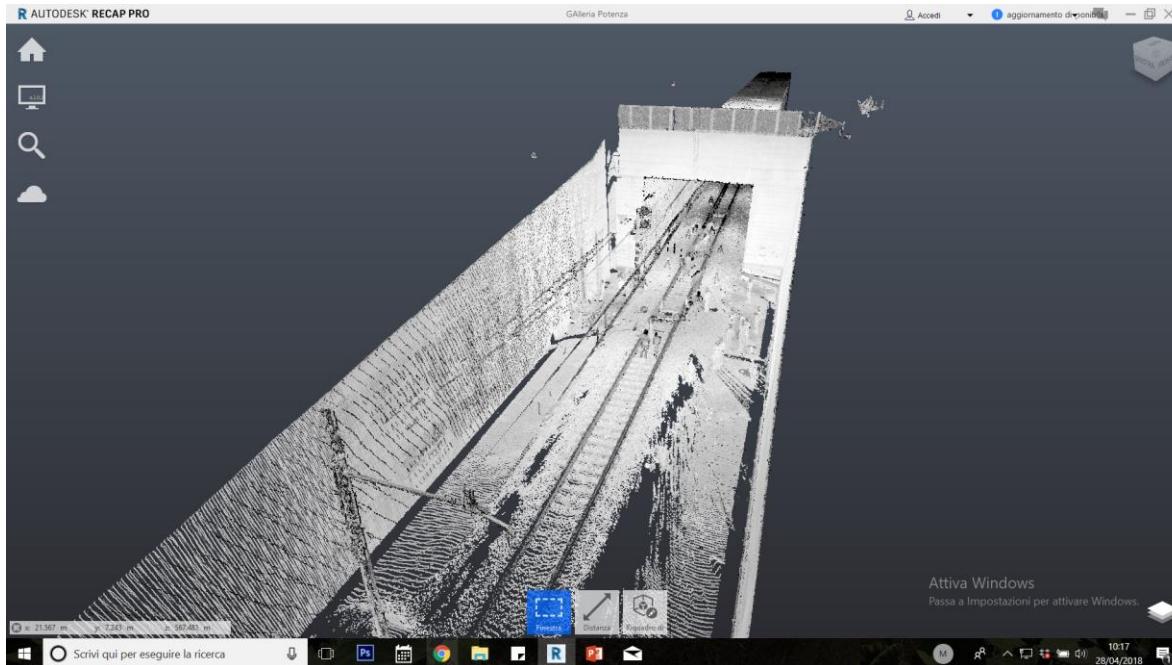
CASO STUDIO: GALLERIA FERROVIARIA



Progetto del Rilievo: 12 scansioni



CASO STUDIO: GALLERIA FERROVIARIA

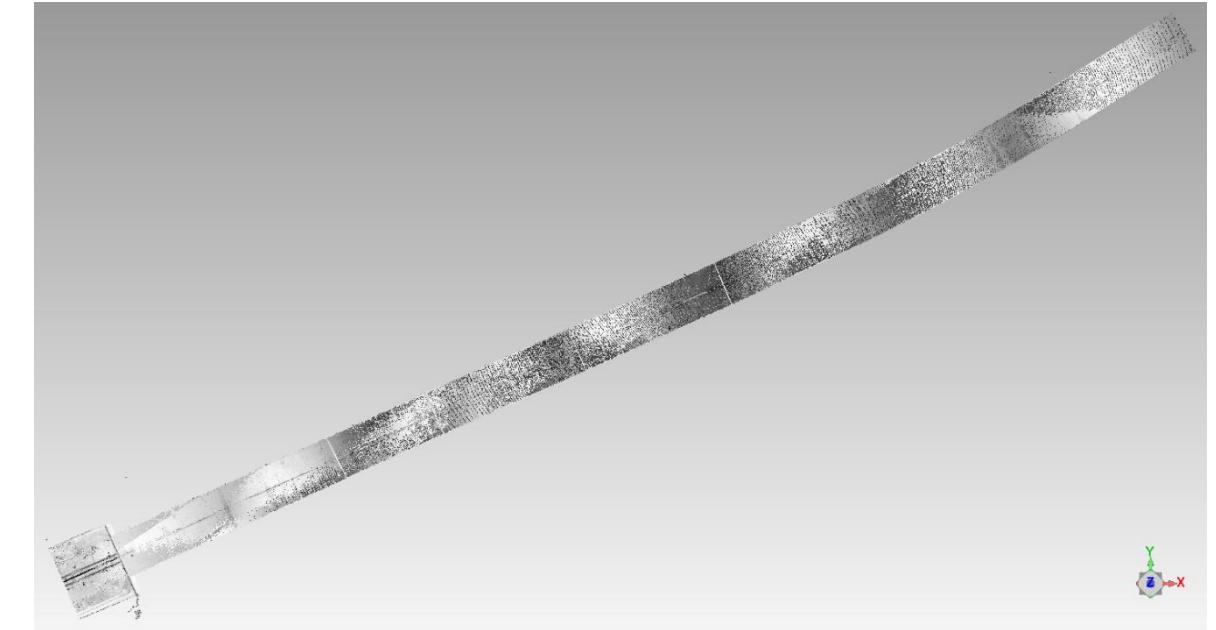




CASO STUDIO: GALLERIA FERROVIARIA

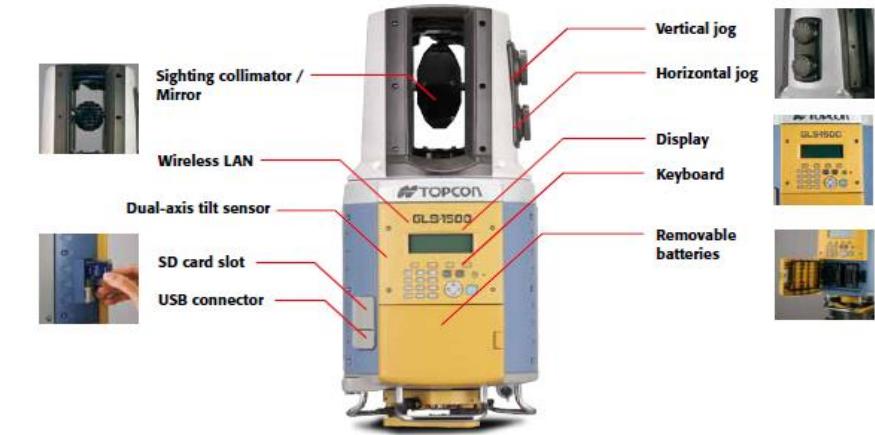


Vista laterale



Vista dall'alto

CASO STUDIO: RILIEVO CONOIDE ALLUVIONALE



Portata massima: 350 m
Accuratezza sul singolo punto: 4 mm a 150m
Densità di scansione: fino a 30000 punti/secondi

CASO STUDIO: RILIEVO CONOIDE ALLUVIONALE

PRE-EVENTO

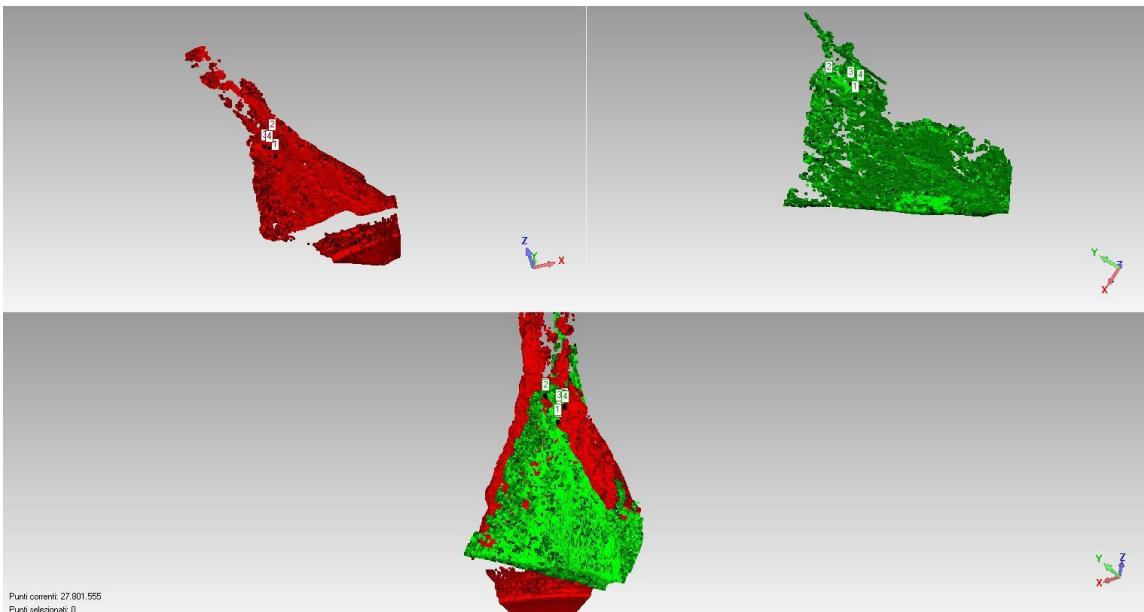


POST-EVENTO

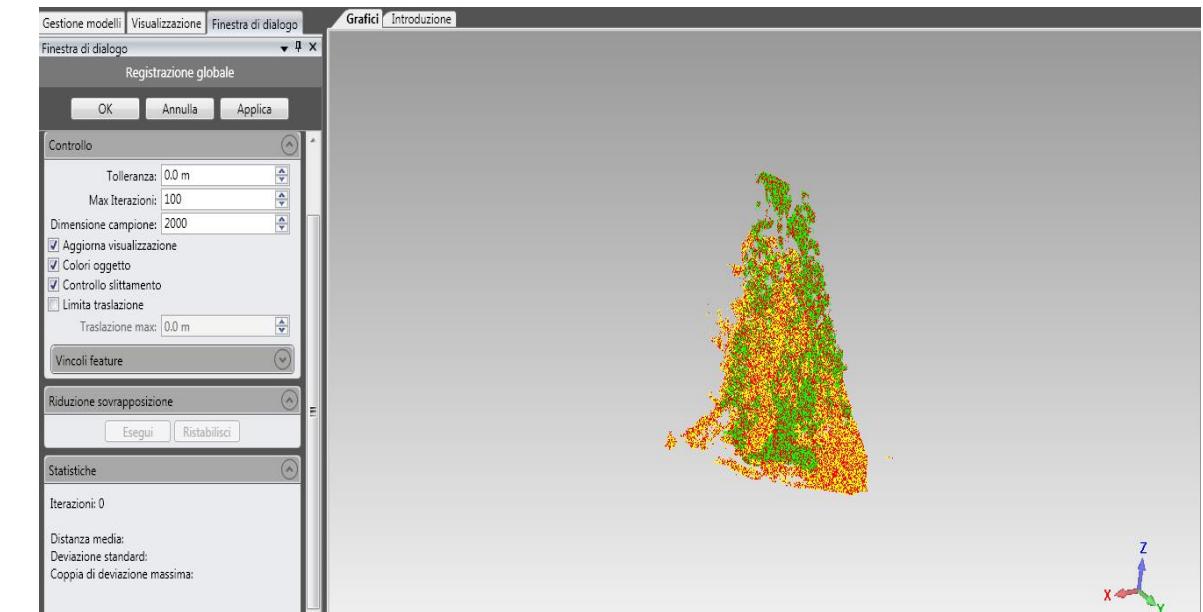


CASO STUDIO: RILIEVO CONOIDE ALLUVIONALE

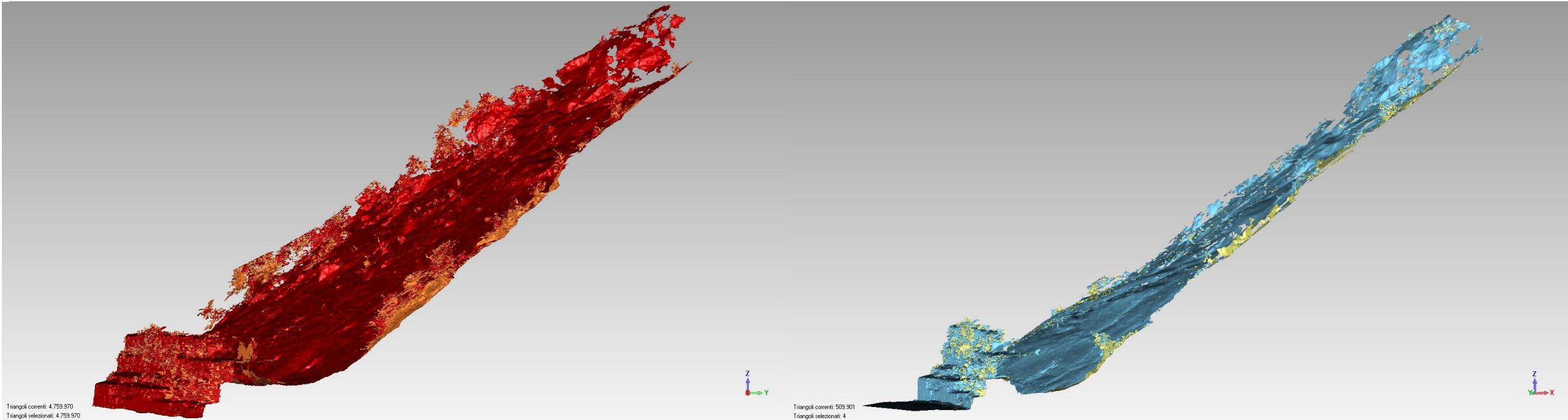
REGISTRAZIONE MANUALE



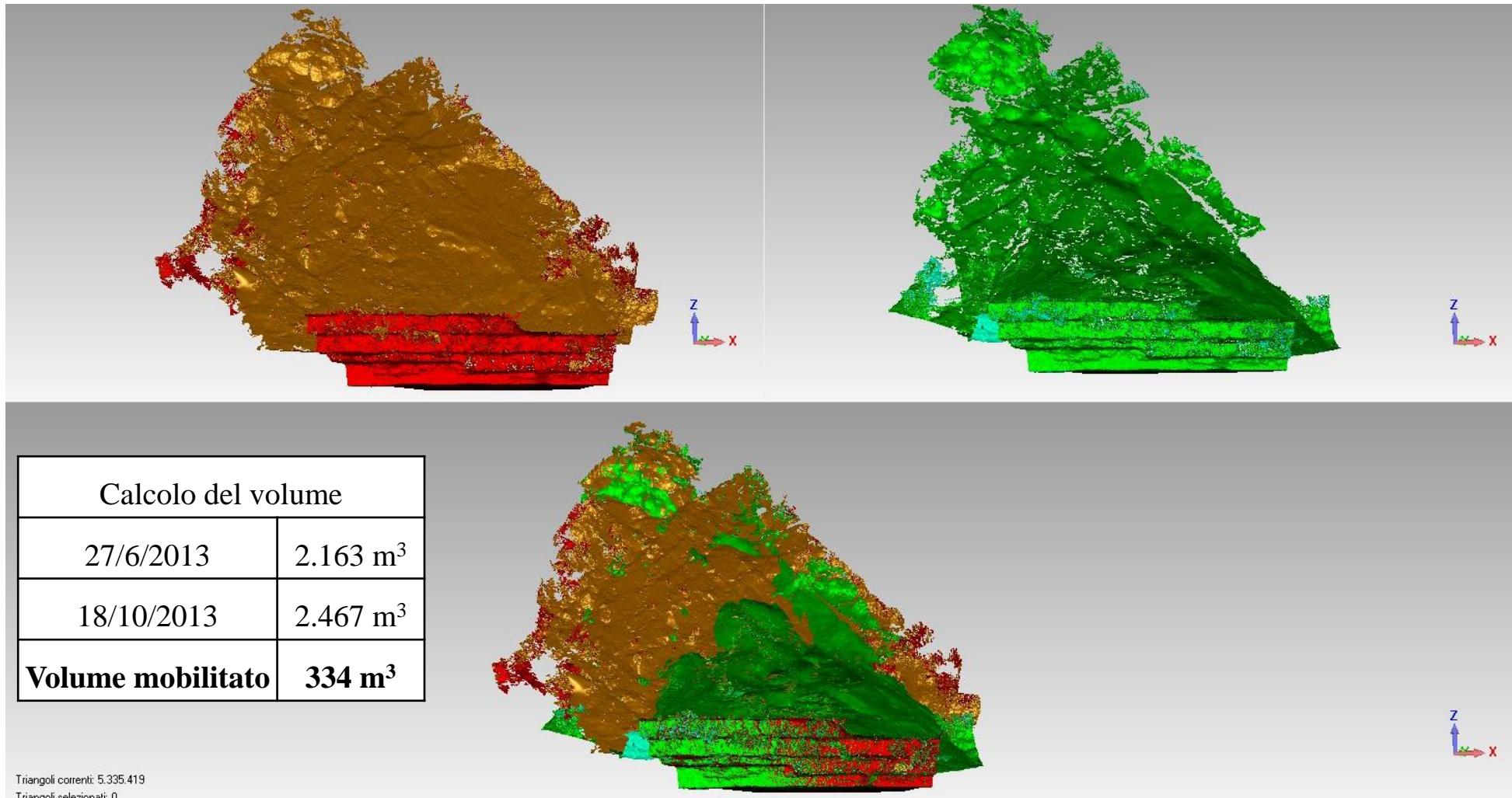
REGISTRAZIONE GLOBALE



CASO STUDIO: RILIEVO CONOIDE ALLUVIONALE



CASO STUDIO: RILIEVO CONOIDE ALLUVIONALE





PARTE V

- Caso Studio: Santuario SS Cosma e Damiano
- Scelta dei parametri di scansione
- Acquisizione del colore con HDR
- Allineamento delle scansioni in Faro Scene
- Piante Sezioni e Ortofoto in Faro Scene
- Integrazioni di dati attivi e passivi: allineamento in CloudCompare
- Una validazione dei dati: lo strumento Cloud To Cloud in CloudCompare
- Piante Sezioni e Ortofoto in CloudCompare
- Importazione e visualizzazione dei dati in Autodesk Recap
- Allineamento di due scansioni in Autodesk Recap
- Piante Sezioni e Ortofoto in Autodesk Recap



CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



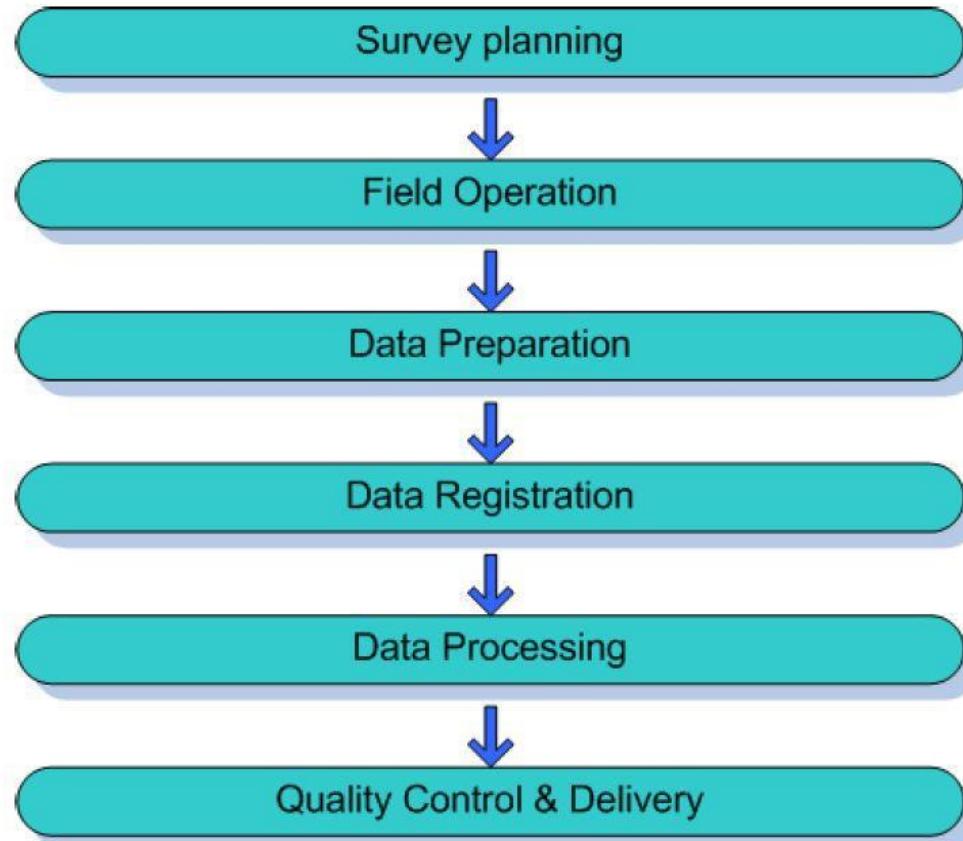
CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



Faro Focus x 130

Mil. Punti	Risoluzione	Qualità	Velocità (pts/s)	Compressione	Rumore	Tempo di scansione (min)	pts/360°
710.7	1/1	1x	976	-	-	00:14:19	40,960
710.7	1/1	2x	488	-	-	00:28:38	40,960
710.7	1/1	3x	244	-	-	00:57:16	40,960
710.7	1/1	4x	122	-	-	01:54:32	40,960
177.7	1/2	1x	976	-	-	00:03:35	20,480
177.7	1/2	2x	488	-	-	00:07:09	20,480
177.7	1/2	3x	244	-	-	00:14:19	20,480
177.7	1/2	4x	122	-	-	00:28:38	20,480
177.7	1/2	6x	122	2x	-	01:54:32	20,480
44.4	1/4	1x	976	-	-	00:00:54	10,240
44.4	1/4	2x	488	-	-	00:01:47	10,240
44.4	1/4	3x	244	-	-	00:03:35	10,240
44.4	1/4	4x	122	-	-	00:07:09	10,240
44.4	1/4	6x	122	2x	-	00:28:38	10,240
44.4	1/4	8x	122	4x	-	01:54:32	10,240
28.4	1/5	2x	488	-	-	00:01:09	8,192
28.4	1/5	3x	244	-	-	00:02:17	8,192
28.4	1/5	4x	122	-	-	00:04:35	8,192
28.4	1/5	6x	122	2x	-	00:18:20	8,192
11.1	1/8	2x	488	-	-	00:00:27	5,120
11.1	1/8	3x	244	-	-	00:00:54	5,120
11.1	1/8	4x	122	-	-	00:01:47	5,120
11.1	1/8	6x	122	2x	-	00:07:09	5,120
11.1	1/8	8x	122	4x	-	00:28:38	5,120
7.1	1/10	3x	244	-	-	00:00:34	4,096
7.1	1/10	4x	122	-	-	00:01:09	4,096
7.1	1/10	6x	122	2x	-	00:04:35	4,096
7.1	1/10	8x	122	2x	-	00:18:20	4,096
2.8	1/16	3x	244	-	-	00:00:13	2,560
2.8	1/16	4x	122	-	-	00:00:27	2,560
2.8	1/16	6x	122	2x	-	00:01:47	2,560
2.8	1/16	8x	122	4x	-	00:07:09	2,560
1.8	1/20	4x	122	-	-	00:00:17	2,048
1.8	1/20	6x	122	2x	-	00:01:09	2,048
1.8	1/20	8x	122	4x	-	00:04:35	2,048
0.7	1/32	4x	122	-	-	00:00:07	1,280
0.7	1/32	6x	122	2x	-	00:00:27	1,280
0.7	1/32	8x	122	4x	-	00:01:47	1,280

CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



Attualmente, non esiste un procedimento standardizzato per una corretta acquisizione con laser scanner terrestre. Ad ogni modo, la fase comunemente chiamata di “progetto di rilievo”, deve sicuramente considerare i seguenti aspetti: obiettivi generali del rilievo; sopralluogo dell’area da rilevare; scelta degli strumenti e tecniche di misurazione; metodologia di gestione e condivisione dei dati.

CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



Scan.	Mil. Punti	Risoluzione	Qualità	Velocità (pts/s)	Colore
N. 1	44.4	1/4	4x	122	HDR 3X
N. 2	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 3	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 4	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 5	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 6	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 7	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 8	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 9	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 10	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 11	44.4	1/4	4x	122	SI
N. 12	44.4	1/4	4x	122	HDR 3X
N. 13	44.4	1/4	4x	122	HDR 3X
N. 14	44.4	1/4	4x	122	HDR 3X

CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



Faro Focus x 130

The image displays two side-by-side screenshots of the FARO Scan Parameters software interface. Both screens show various scanning parameters and settings.

Left Screen (08:49):

- Selected Profile: Outdoor 20m...
- Resolution [MPts] Quality: 45.2 4x
- Horizontal Vertical: 0.0° to 360.0° -60.0° to 90.0°
- Select Sensors
- Scan with Color:
- Eye Safety Dist. [m]: axial 10.61 radial 3.24

Right Screen (08:50):

- Select Sensors
- Scan with Color:
- Eye Safety Dist. [m]: axial 10.61 radial 3.24
- Scan Duration [mm:ss]: approx. 08:36
- Scan File Size [MB]: approx. 174.77
- Scan Size [Pt]: 10240 x 4410
- Advanced Settings

CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)

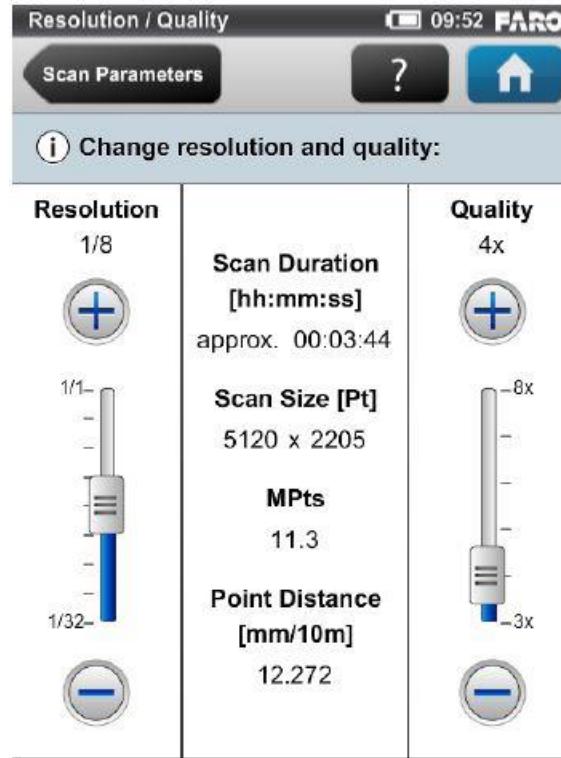


Faro Focus x 130

Risoluzione: è possibile scegliere tra 1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20 e 1/32. all'aumentare del denominatore si riduce il numero di punti acquisito.

Qualità: influisce sulla qualità della scansione e sul tempo di scansione a risoluzione costante. Aumentando la qualità si riduce il rumore nei dati di scansione e quindi aumenta la qualità della scansione con ovvio aumento del tempo di scansione.

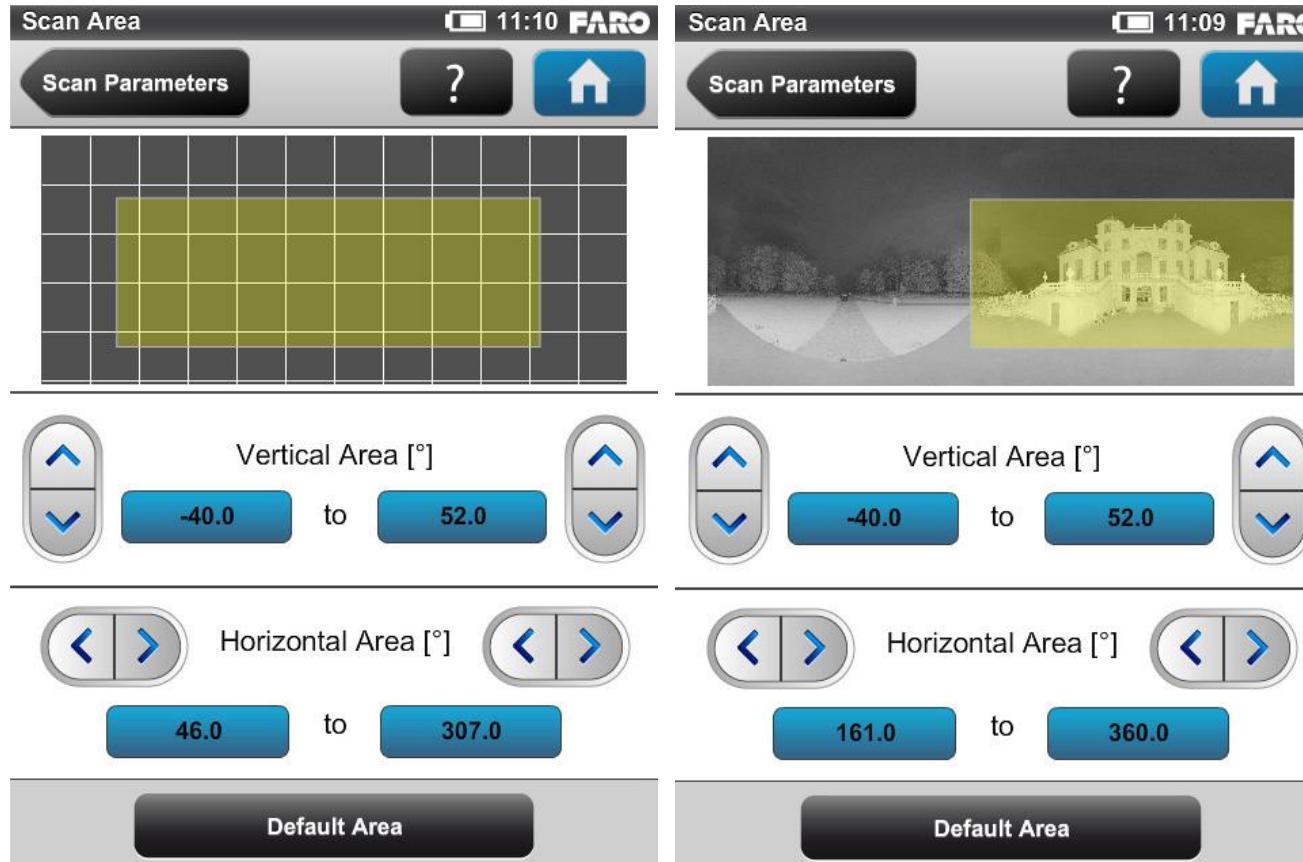
CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



Risoluzione: è possibile scegliere tra 1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20 e 1/32. all'aumentare del denominatore si riduce il numero di punti acquisito.

Qualità: influisce sulla qualità della scansione e sul tempo di scansione a risoluzione costante. Aumentando la qualità si riduce il rumore nei dati di scansione e quindi aumenta la qualità della scansione con ovvio aumento del tempo di scansione.

CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



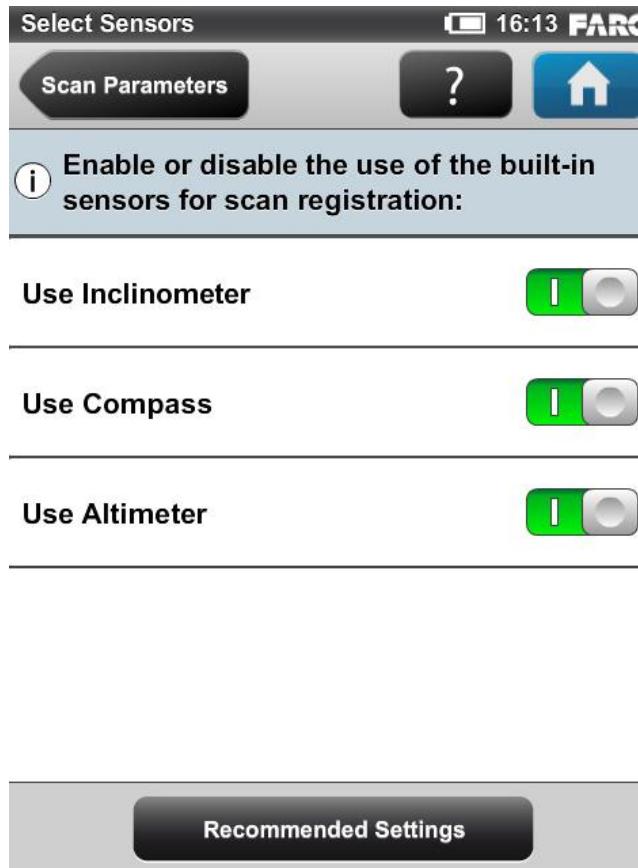
Area verticale: imposta la dimensione dell'area di scansione verticale in gradi.

Area orizzontale: imposta la dimensione dell'area di scansione orizzontale in gradi.

Pulsante Area predefinita: fare clic per ripristinare i valori nell'area di scansione predefinita (verticale da -60° a 90° e orizzontale da 0° a 360°).

Il rettangolo in questa vista illustra l'intera area di scansione (in giallo).

CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



Inclinometro* - Abilita o disabilita l'uso automatico dell'inclinazione e misurazione del compensatore biassiale integrato per la scansione.

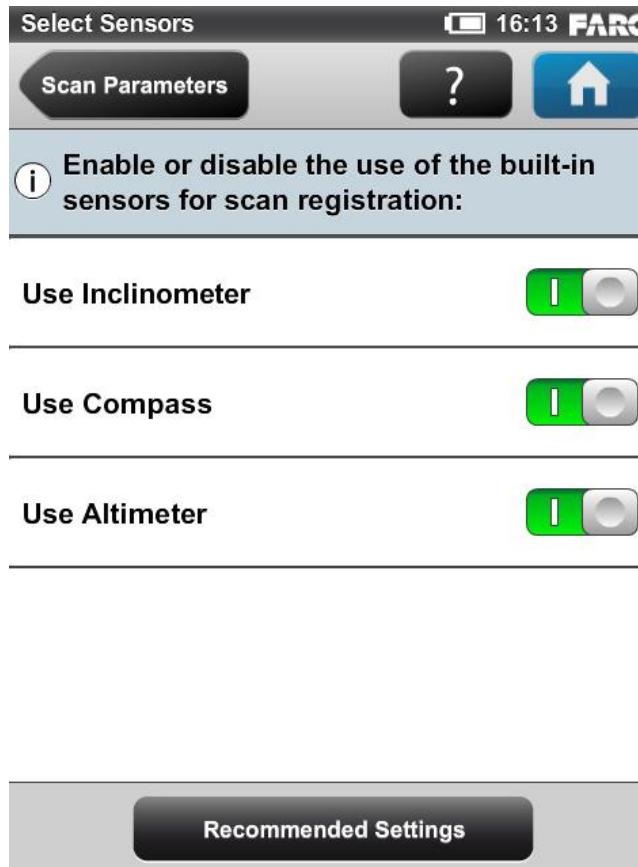
Bussola* - Abilita o disabilita l'uso automatico dei dati della bussola per la registrazione della scansione in SCENE.

Altimetro* - Abilita o disabilita l'uso automatico dei dati dell'altimetro per il scansione della registrazione in SCENE. Potrebbe essere necessario inserire un'altezza di riferimento prima di avviare il progetto di scansione.

* Tuttavia, indipendentemente dalle impostazioni, i dati di questo sensore viene sempre misurato e collegato a ciascuna scansione. Se l'uso dei dati dell'inclinometro sono accesi, verrà automaticamente utilizzato per registrare le scansioni in SCENE; se è spento, i dati saranno ignorati.



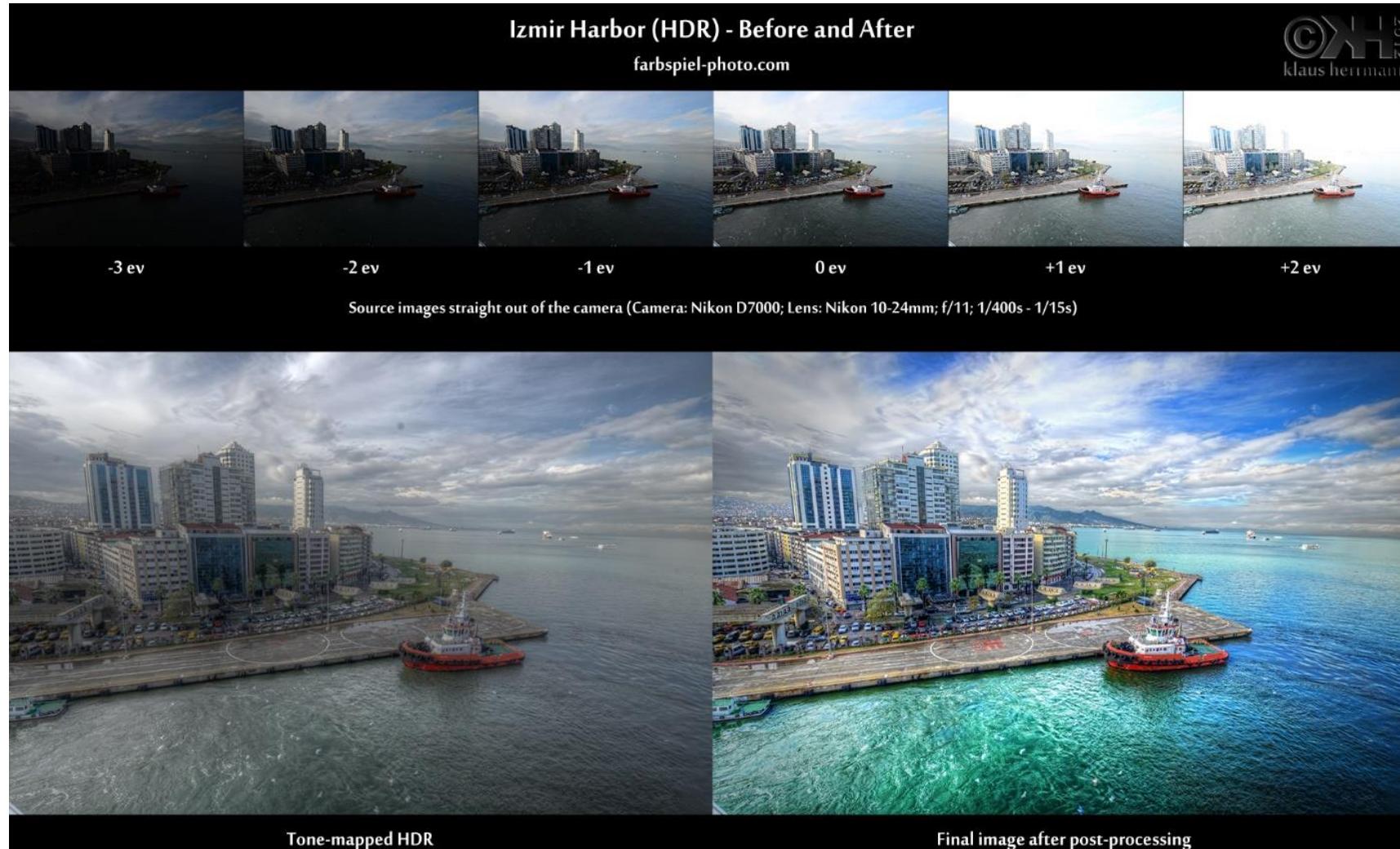
CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



HDR -. Come gli ultimi dispositivi della serie Focus S e X, questo laser scanner supporta la registrazione di fotografie High Dynamic Range (HDR). HDR (High Dynamic Range) è una tecnologia che estende la gamma dinamica di un'immagine per catturarle con tassi di esposizione multipla (x3, x5) e fonderli in un unico livello di immagine HDR. L'immagine HDR fornisce maggiori dettagli, nelle aree scure e molto luminose, che sarebbero andati perduti in un'immagine standard. Queste immagini HDR vengono mappate sui dati delle nuvole di punti generate dal laser scanner.

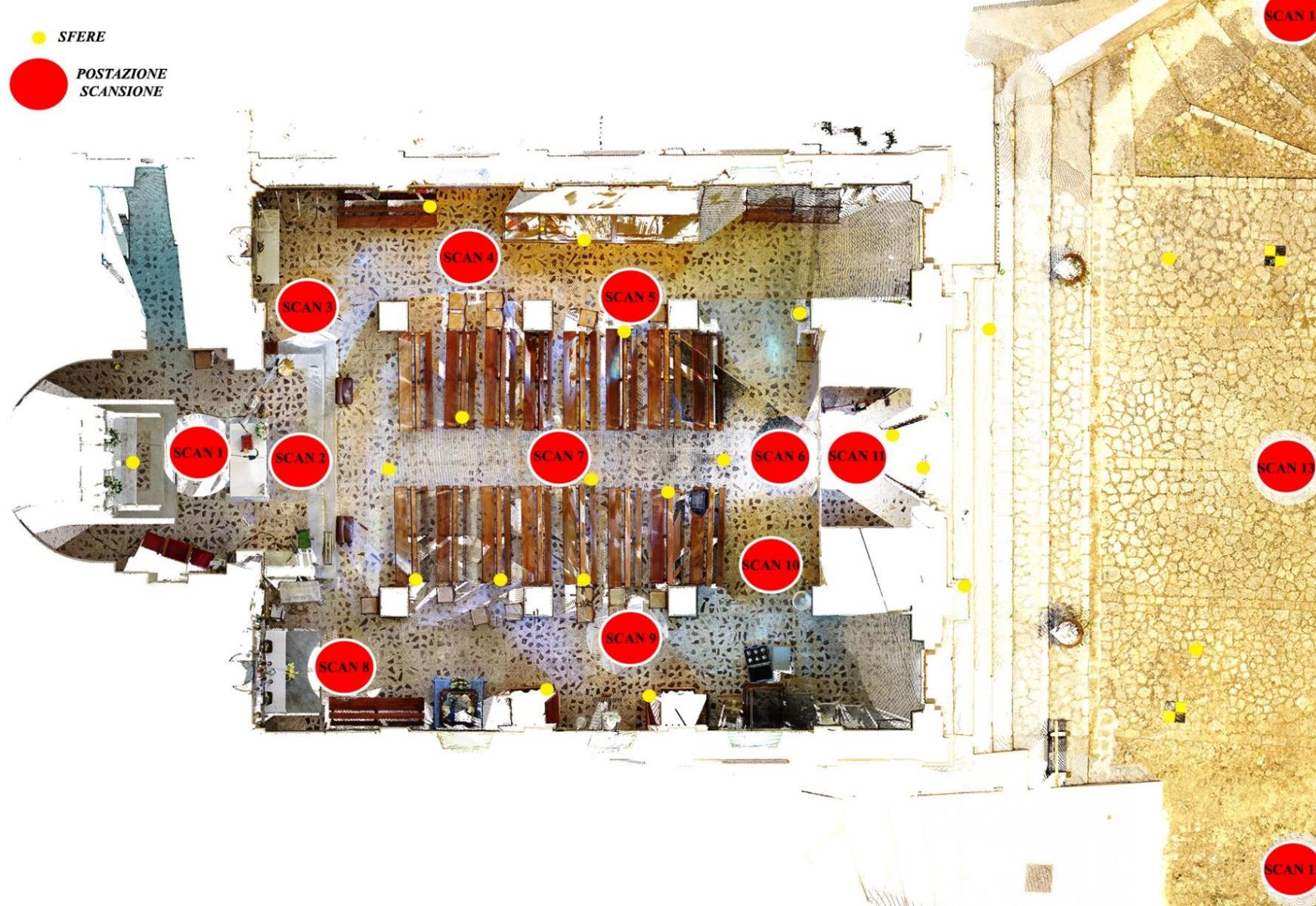


CASO STUDIO: SANTUARIO SS.COSMA E DAMIANO (ALTAVILLA IRPINA, AV)



Fonte: <https://farbspiel-photo.com/wp-content/uploads/2014/07/hdr-before-and-after-izmir-harbor.jpg>

CASO STUDIO: PROGETTO DEL RILIEVO LASER SCANNER





CASO STUDIO: PROGETTO DEL RILIEVO LASER SCANNER

The screenshot shows a 3D modeling software interface with a menu bar at the top. The main window displays a 3D scene with a coordinate system (red X, green Y, blue Z) and a small triangular model. On the left, there's a tree view labeled 'Workspace' containing 'Scans' and numerous entries starting with 'cosma'. A 'Vista corrispondenza Scans' tab is active. A central dialog box titled '/Scans/ScanManager' is open, showing a table of scan data and statistical summary.

Gestione scansioni

Riferimento	Ten...	Scansio...	Scansione 2
• Sphere15	0.0092	cosma012	cosma014
• Sphere13	0.0075	cosma012	cosma014
• Sphere15	0.0073	cosma012	cosma015
• Sphere21	0.0058	cosma005	cosma007
• Sphere21	0.0056	cosma005	cosma006
• Sphere30	0.0055	cosma009	cosma010
• Sphere24	0.0055	cosma003	cosma007
• Sphere9	0.0054	cosma004	cosma005
• Sphere21	0.0052	cosma005	cosma010
• Sphere15	0.0052	cosma014	cosma013
• Sphere	0.0052	cosma014	cosma013
• Sphere9	0.0051	cosma001	cosma005
• Sphere14	0.0050	cosma012	cosma014

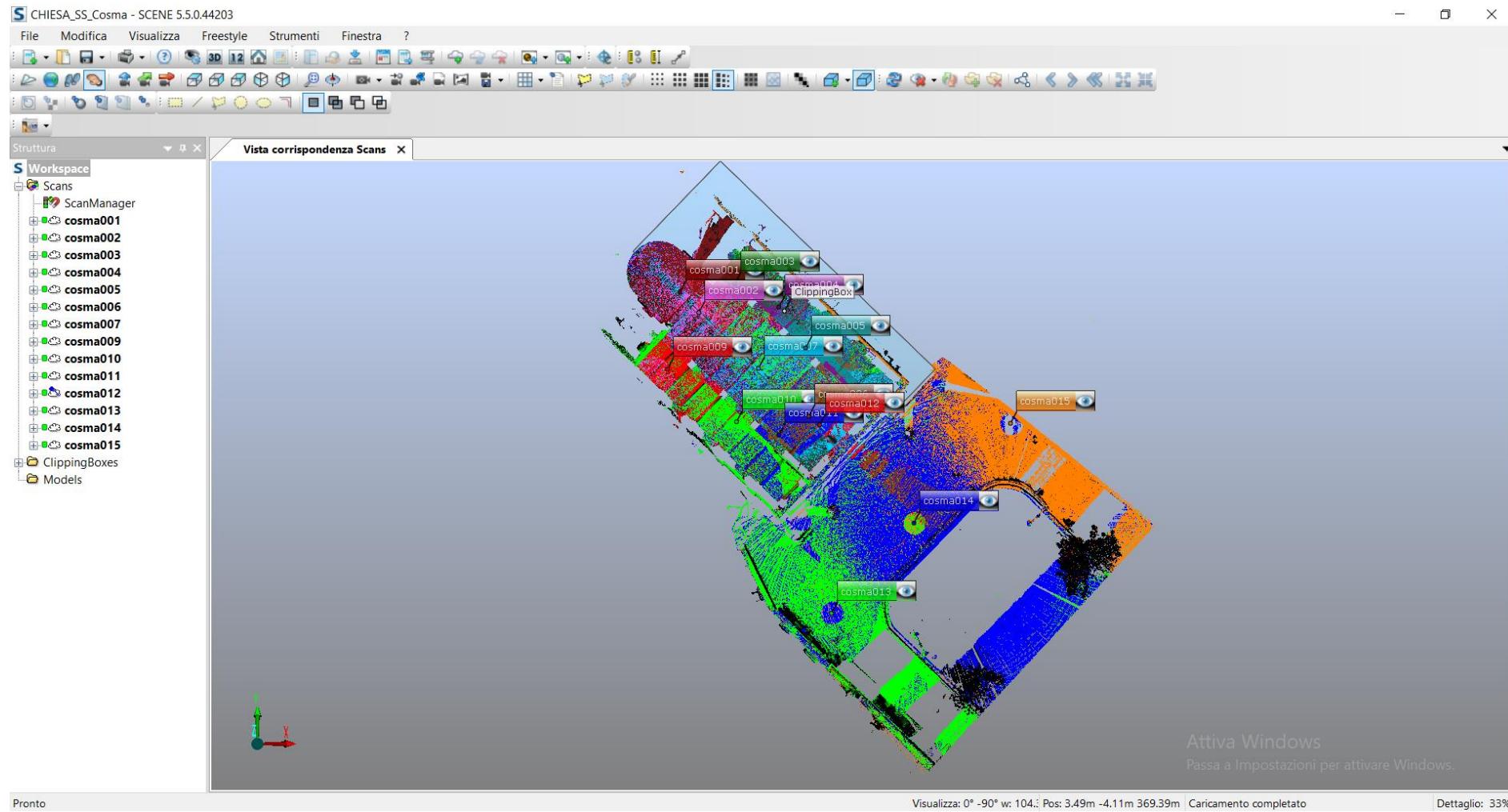
Statistiche

Media:	0.0019	Deviazione:	0.0016
Min:	0.0000	Max:	0.0092

Preleva Applica OK Annulla



CASO STUDIO: PROGETTO DEL RILIEVO LASER SCANNER





PAGINE WEB PER DOWNLOAD SOFTWARE:

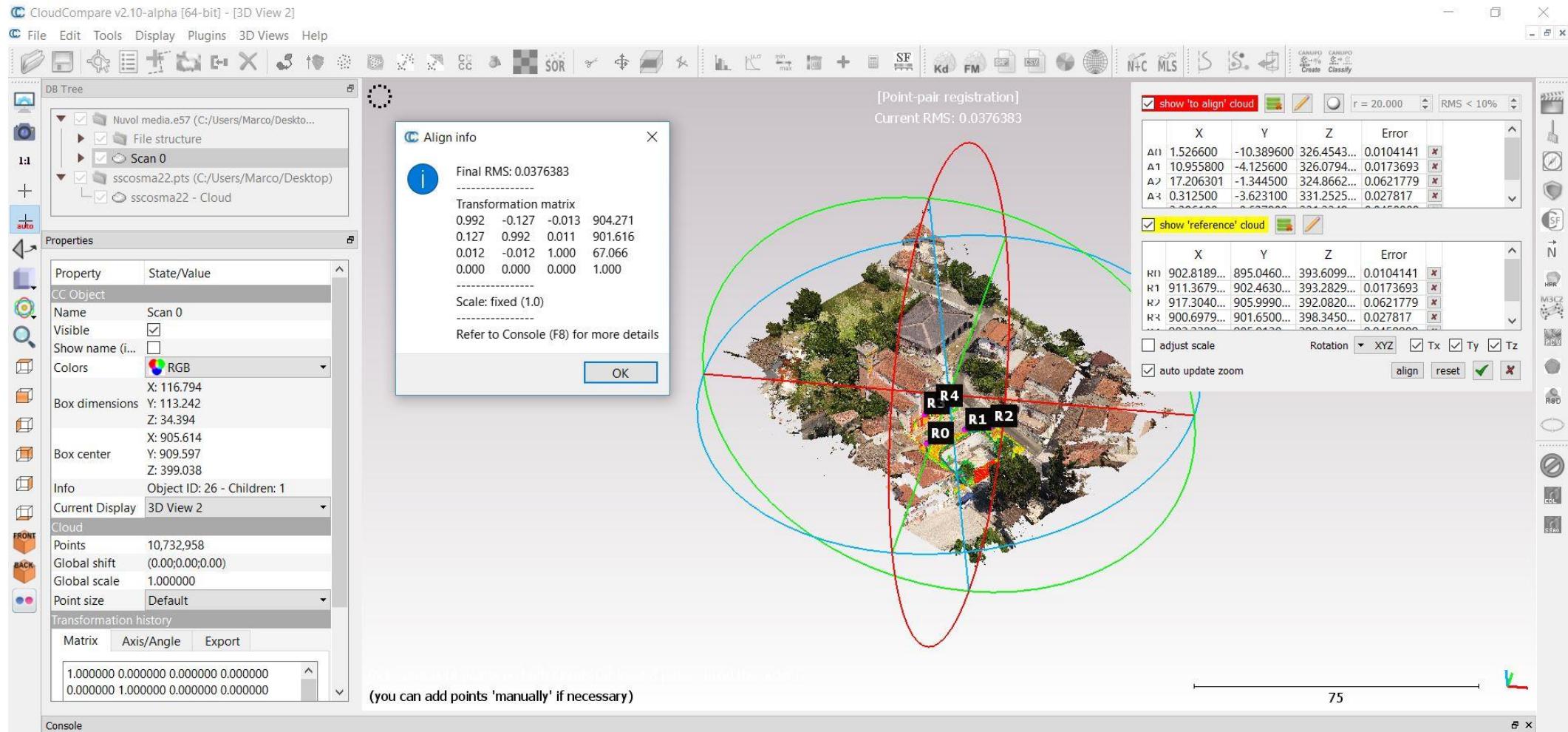
Faro Scene: <https://www.faro.com/en-gb/products/product-design/faro-scene/free-trial/> (30gg)

CloudCompare: <http://www.danielgm.net/cc/release/> (Free)

Autodesk Recap Pro: <https://www.autodesk.com/products/recap/free-trial> (30gg)

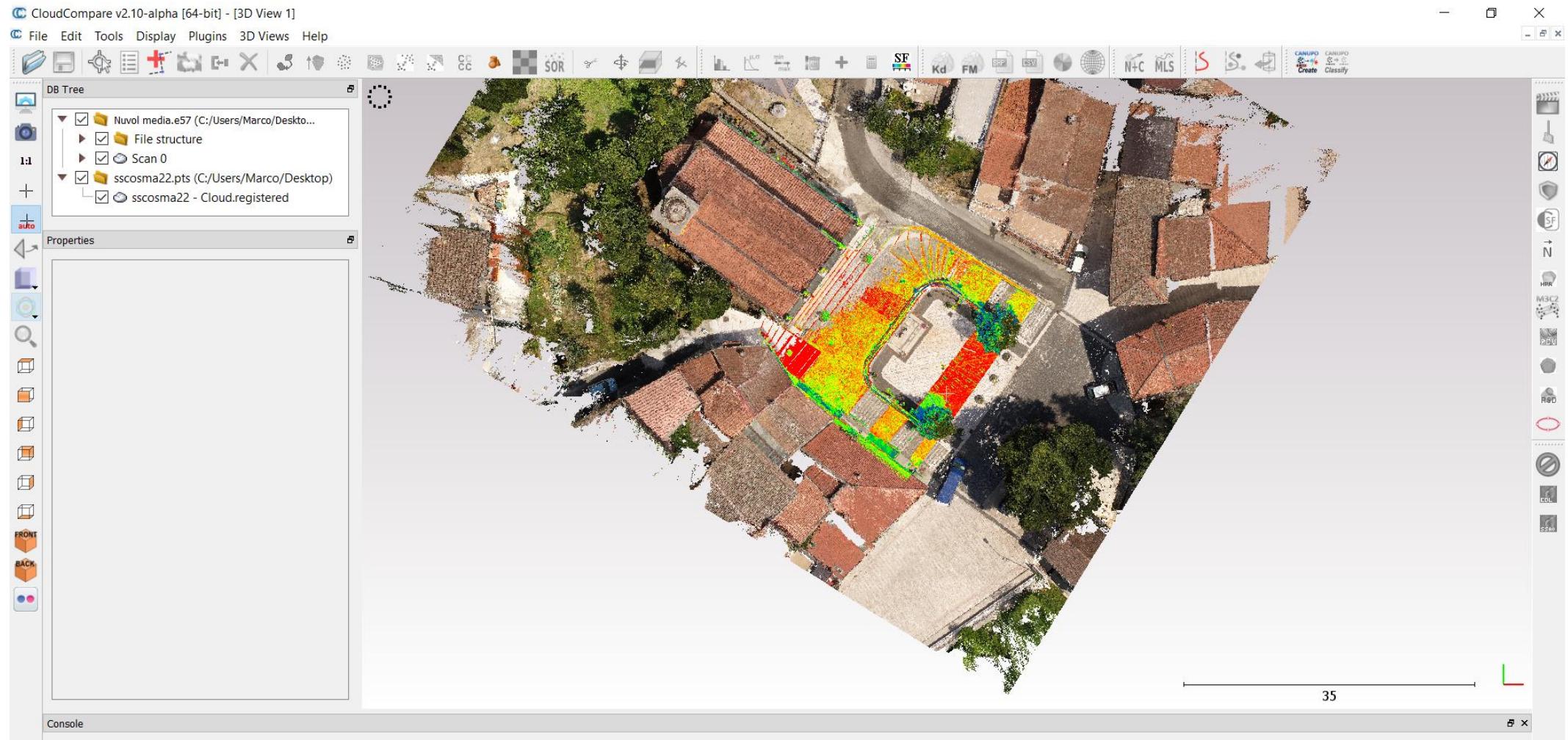


CASO STUDIO: INTEGRAZIONE TLS E AEROFOTOGRAFIA



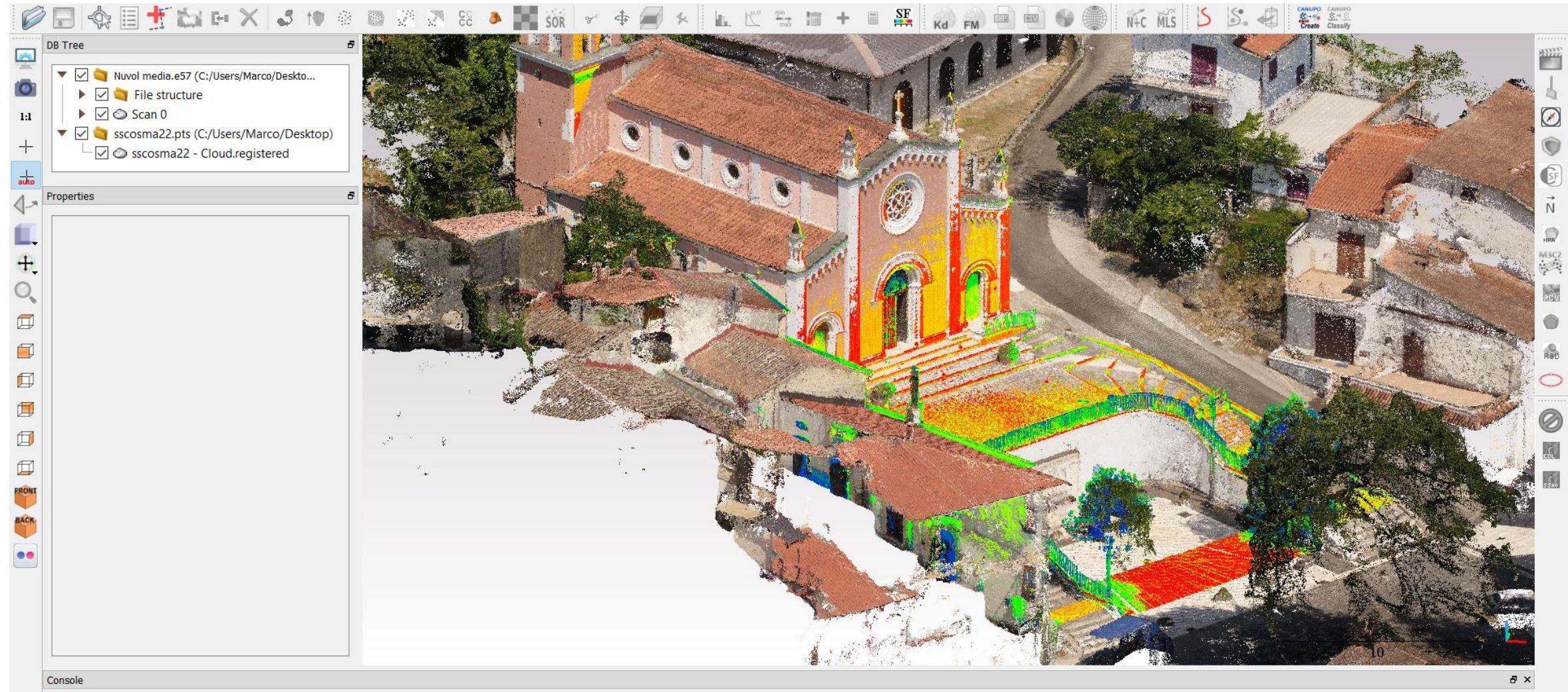


CASO STUDIO: INTEGRAZIONE TLS E AEROFOTOGRAFIA

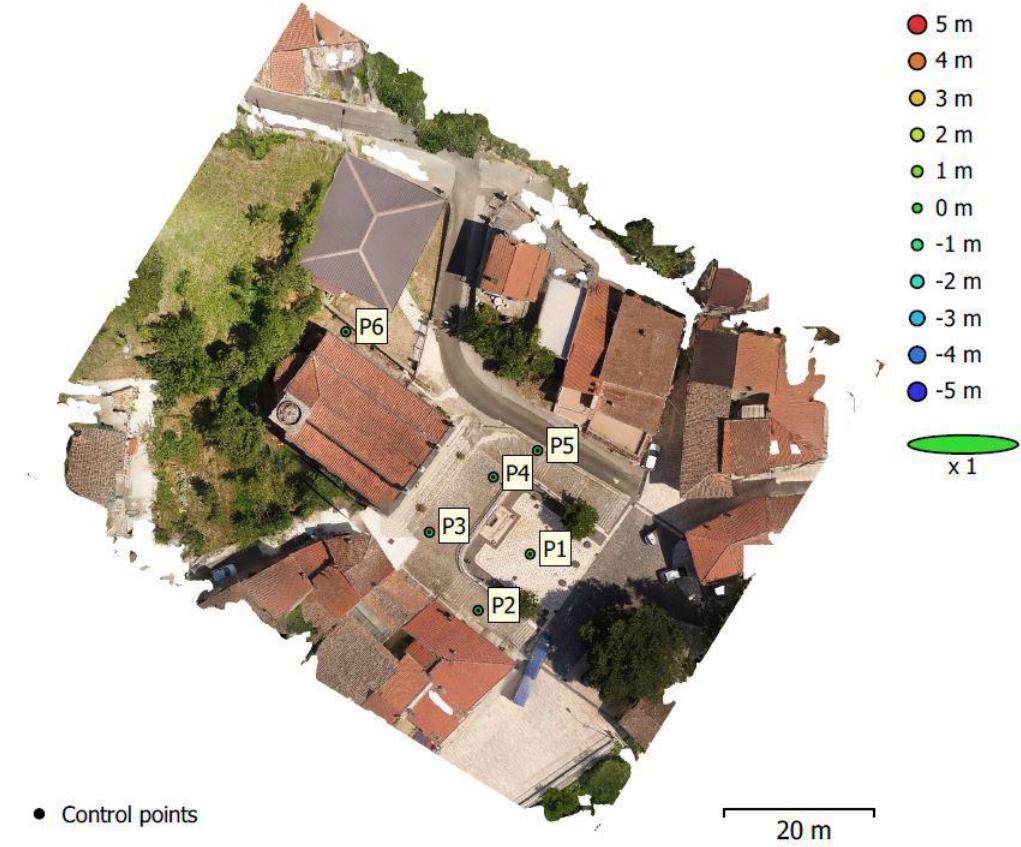
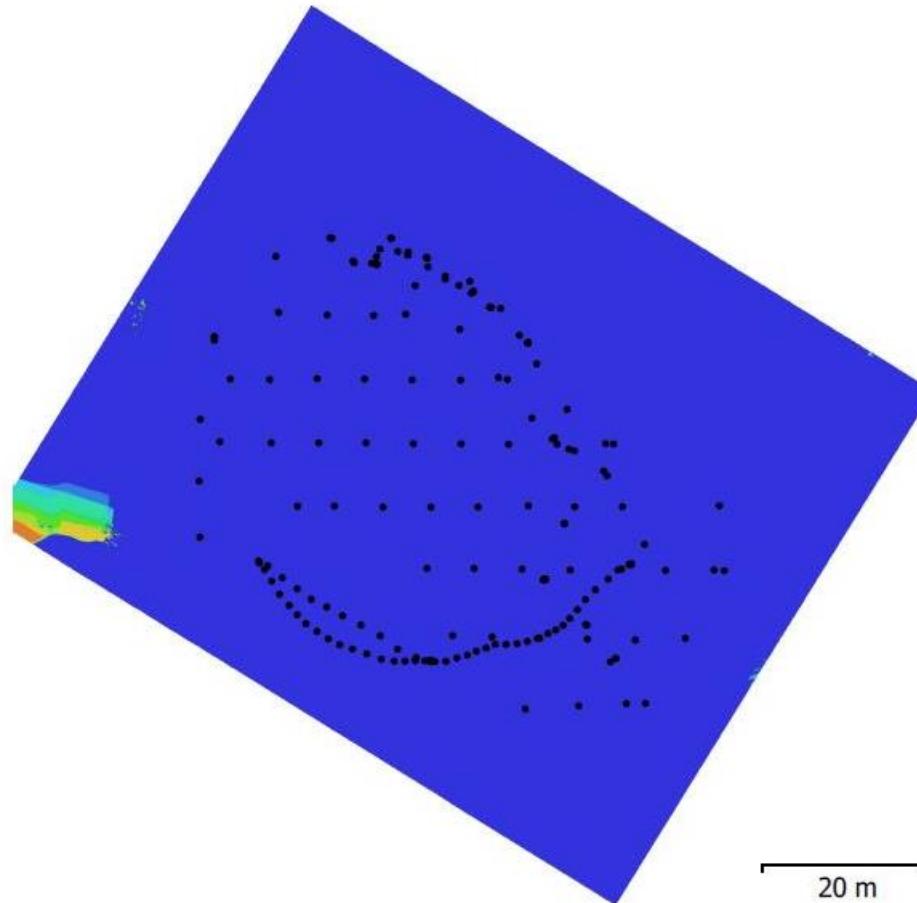




CASO STUDIO: INTEGRAZIONE TLS E AEROFOTOGRAFIA



CASO STUDIO: INTEGRAZIONE TLS E AEROGRAMMETRIA



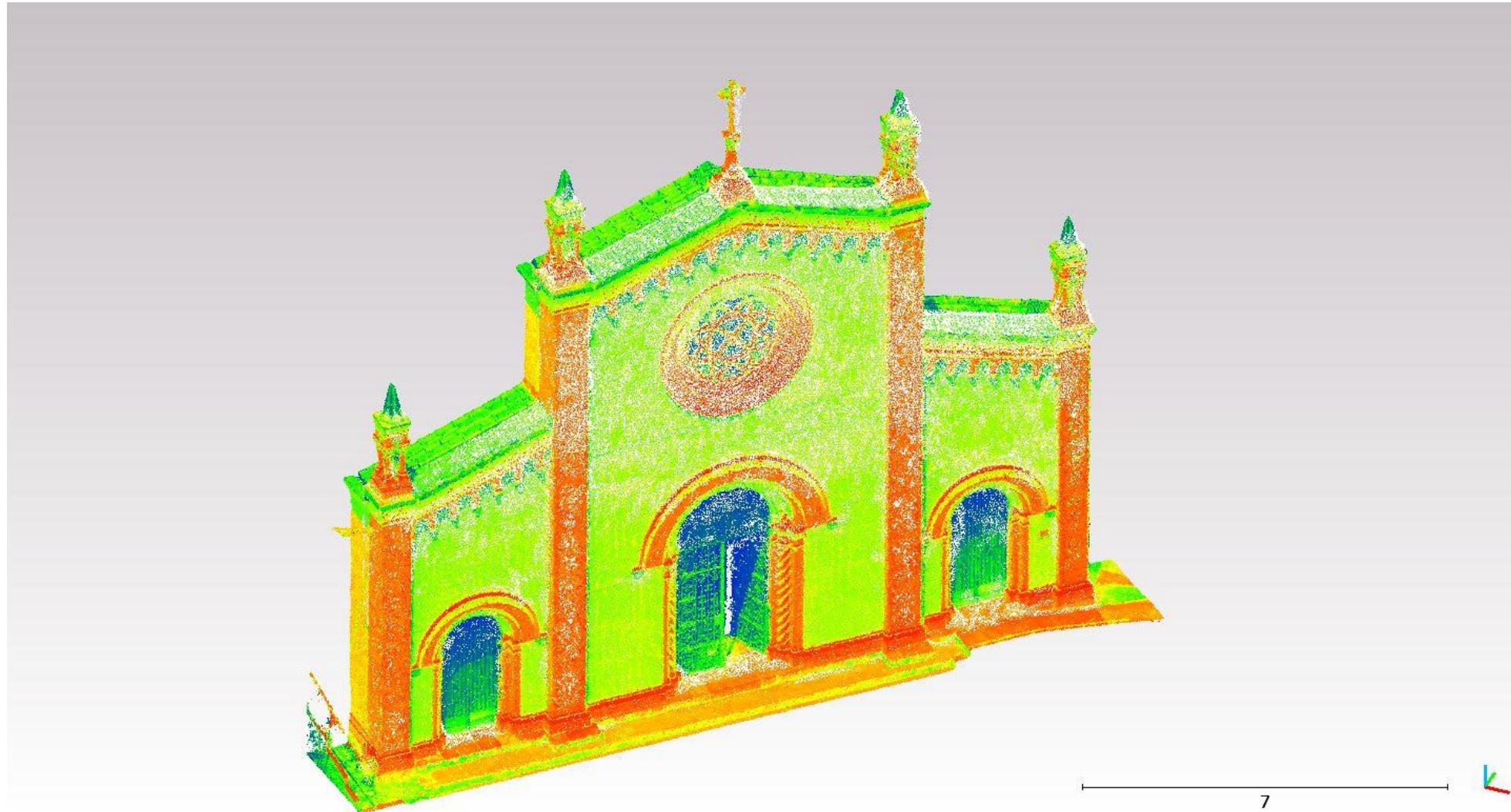
CASO STUDIO: INTEGRAZIONE TLS E AEROFOTOGRAFIA



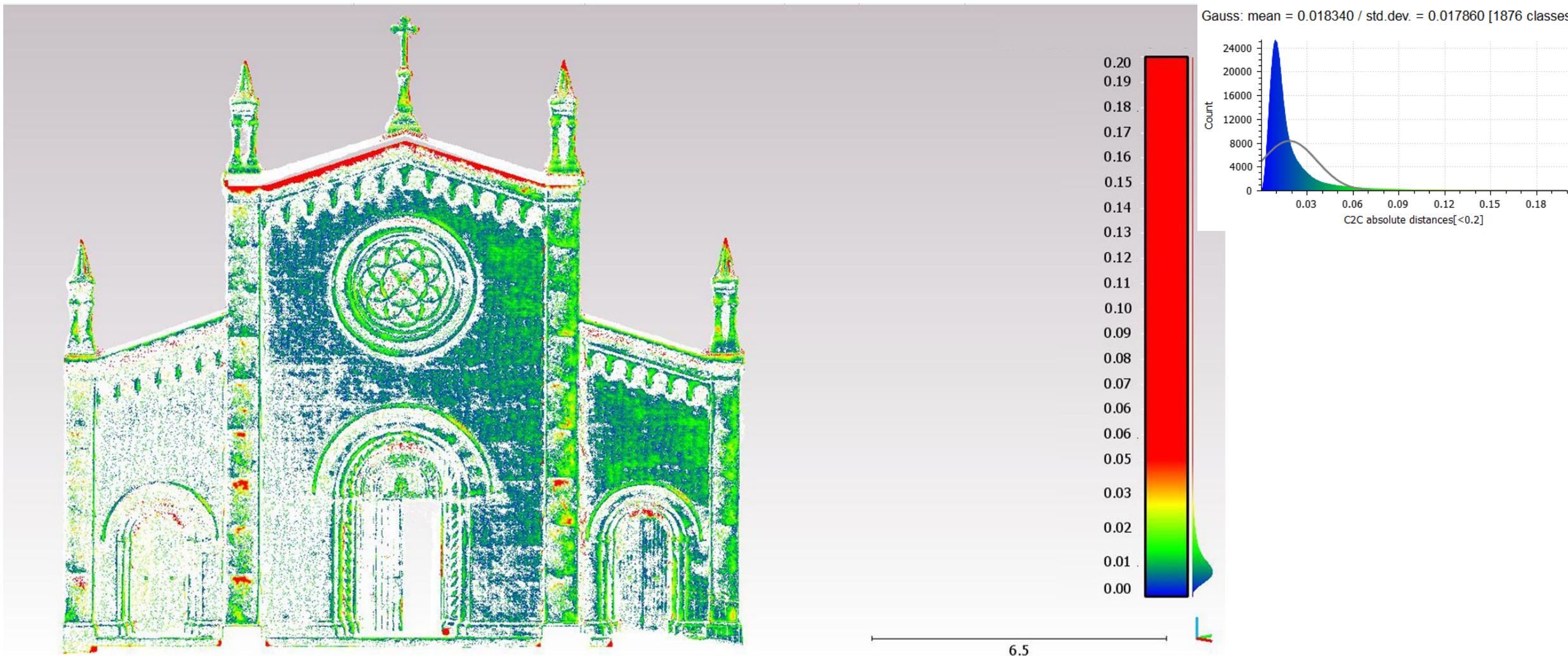
CASO STUDIO: INTEGRAZIONE TLS E AEROFOTOGRAFIA



CASO STUDIO: COMPARAZIONE CLOUD TO CLOUD



CASO STUDIO: COMPARAZIONE CLOUD TO CLOUD

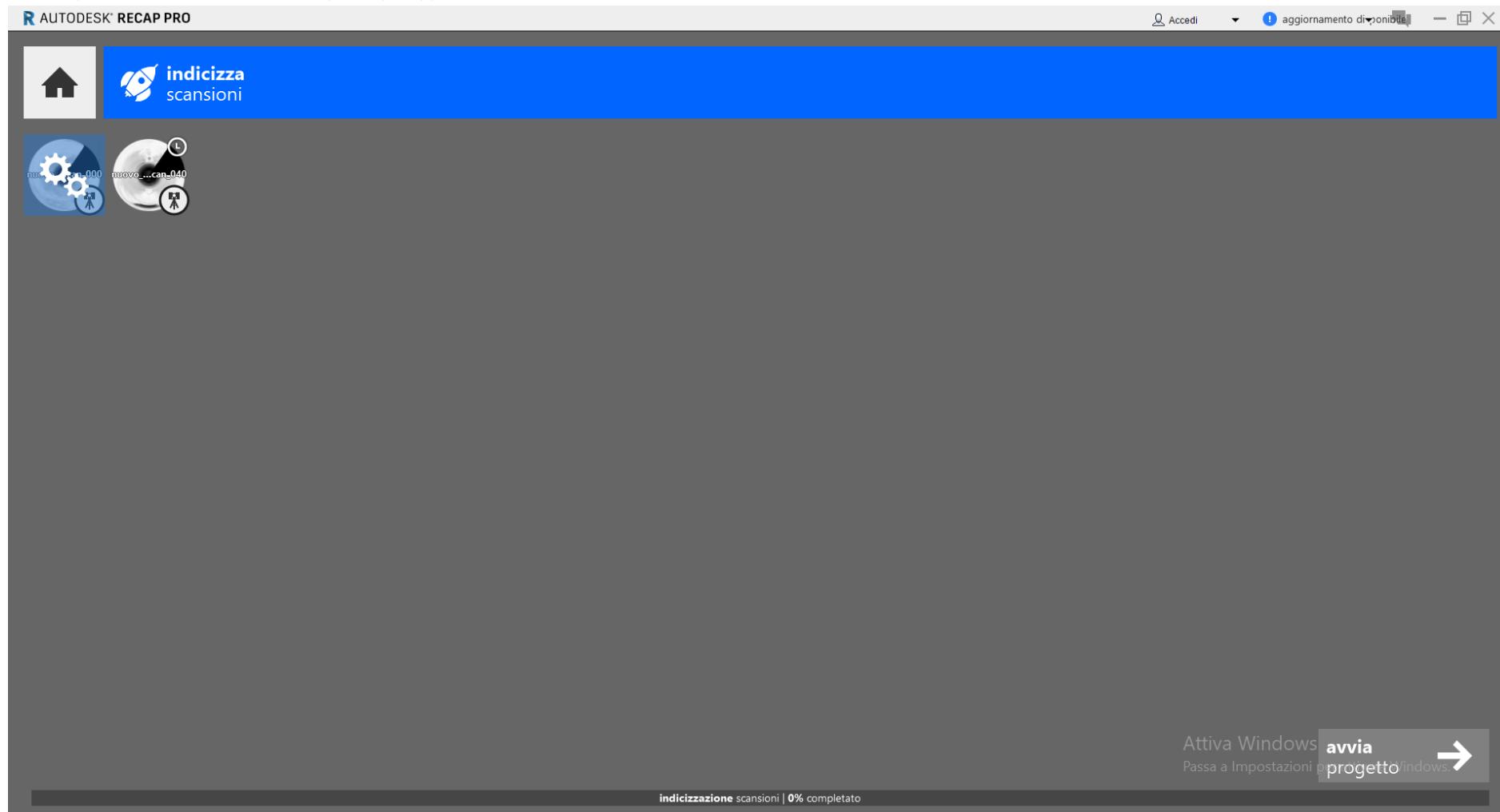


CASO STUDIO: INTEGRAZIONE E SEZIONE



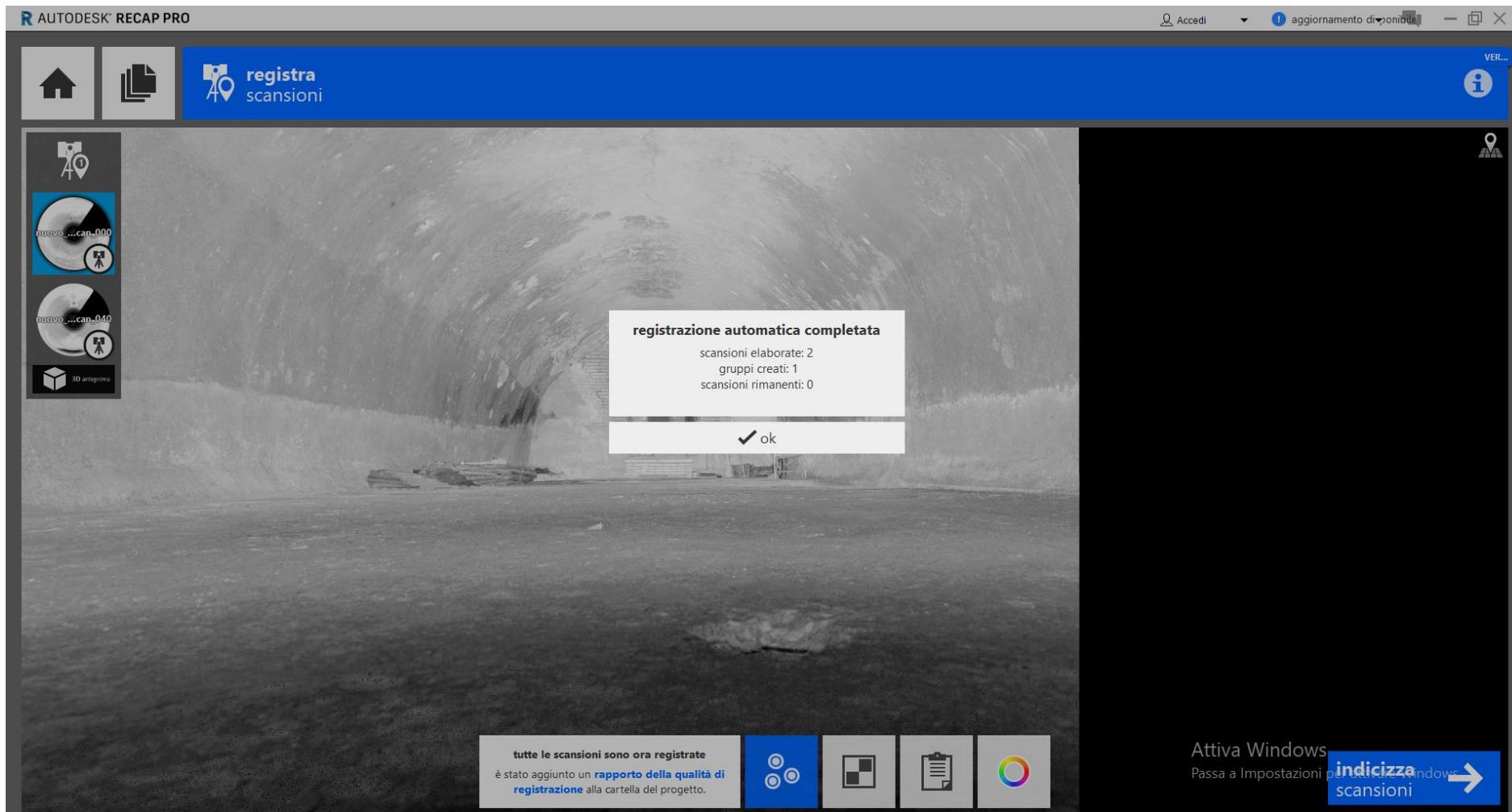


CASO STUDIO: RILIEVO CISTERNA





CASO STUDIO: RILIEVO CISTERNA





CASO STUDIO: RILIEVO CISTERNA

