

Nuvole di punti 3D

Matteo Sgrenzaroli

Gexcel - Spin-Off Università di Brescia









Indice degli argomenti trattati

1. Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?
2. Caratteristiche delle nuvole di punti 3D
3. Come gestire le nuvole di punti
 1. Filtraggio
 2. Allineamento
 3. Creazione di mesh
 4. Mappatura fotografica
4. Esempi applicati di utilizzo di nuvole di punti

Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da dove partiamo?

Tipologia di strumenti che forniscono nuvole di punti

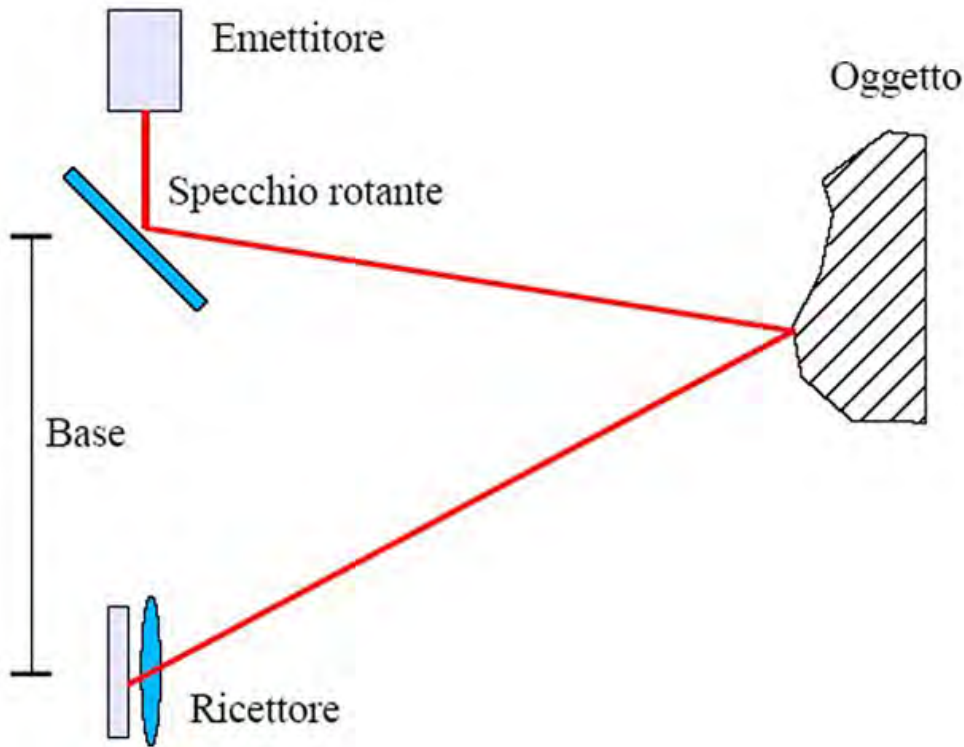
			
			
<p>Phase shift range < 120m</p>	<p>TOF range < 250m</p>	<p>TOF range < 2000m</p>	

Strumenti laser terrestri "statici" - ranging

Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da dove partiamo?

Tipologia di strumenti che forniscono nuvole di punti



Strumenti laser terrestri “statici” – a triangolazione

Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da dove partiamo?

Tipologia di strumenti che forniscono nuvole di punti

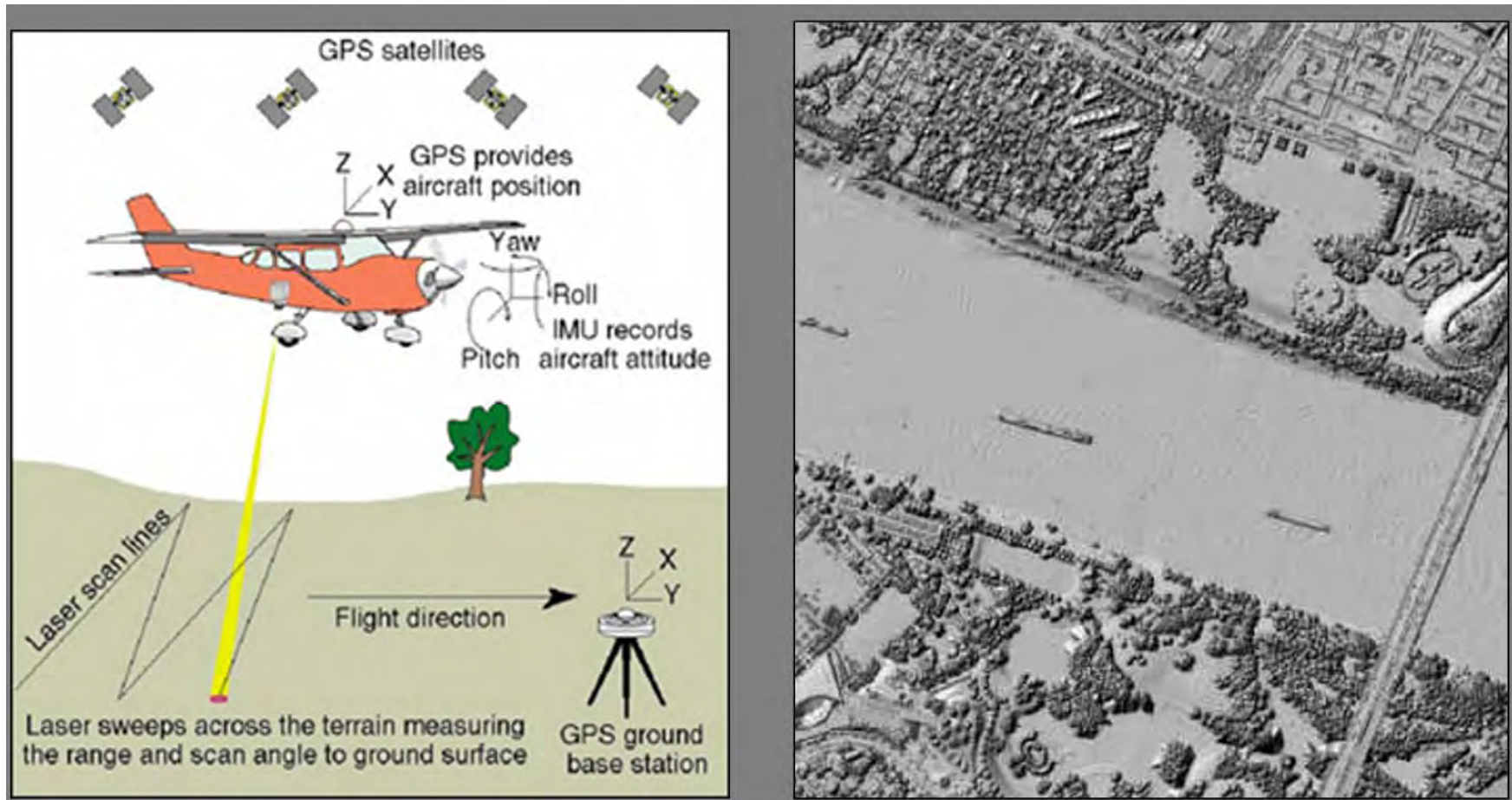


Strumenti laser terrestri “mobili”

Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da dove partiamo?

Tipologia di strumenti che forniscono nuvole di punti

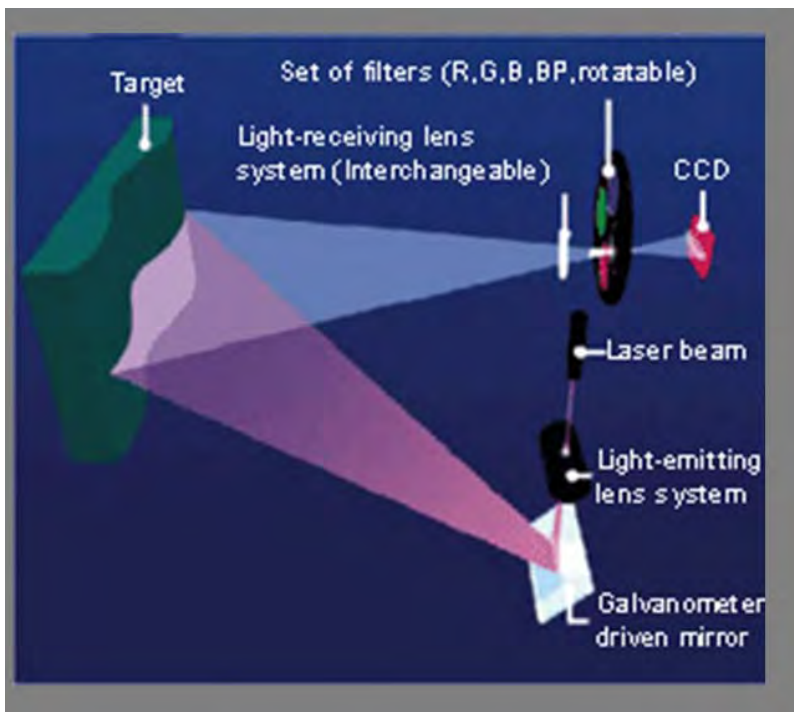


Strumenti laser aerei

Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da dove partiamo?

Tipologia di strumenti che forniscono nuvole di punti

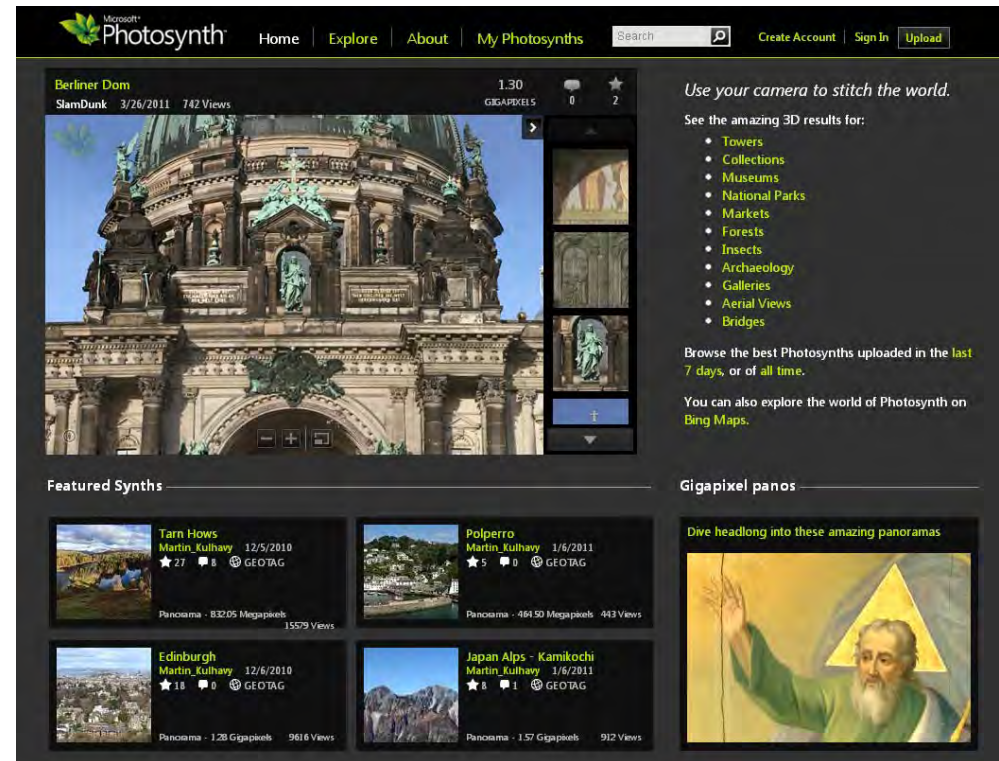
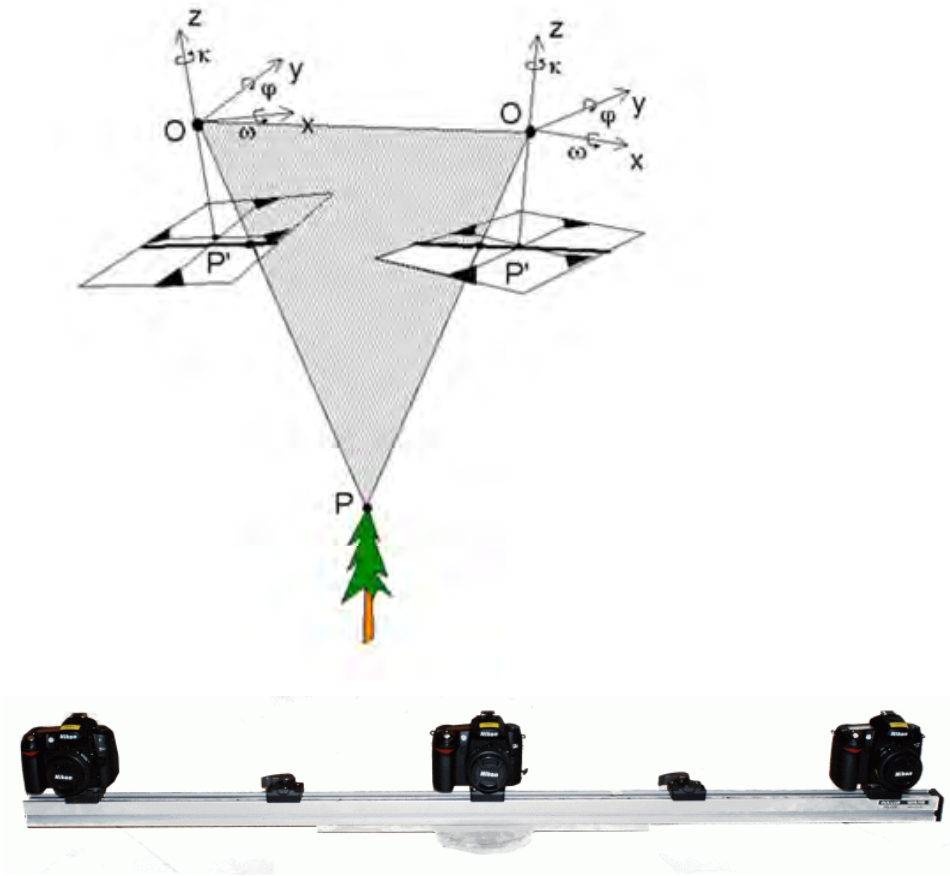


Strumenti a luce strutturata

Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da dove partiamo?

Tipologia di strumenti che forniscono nuvole di punti

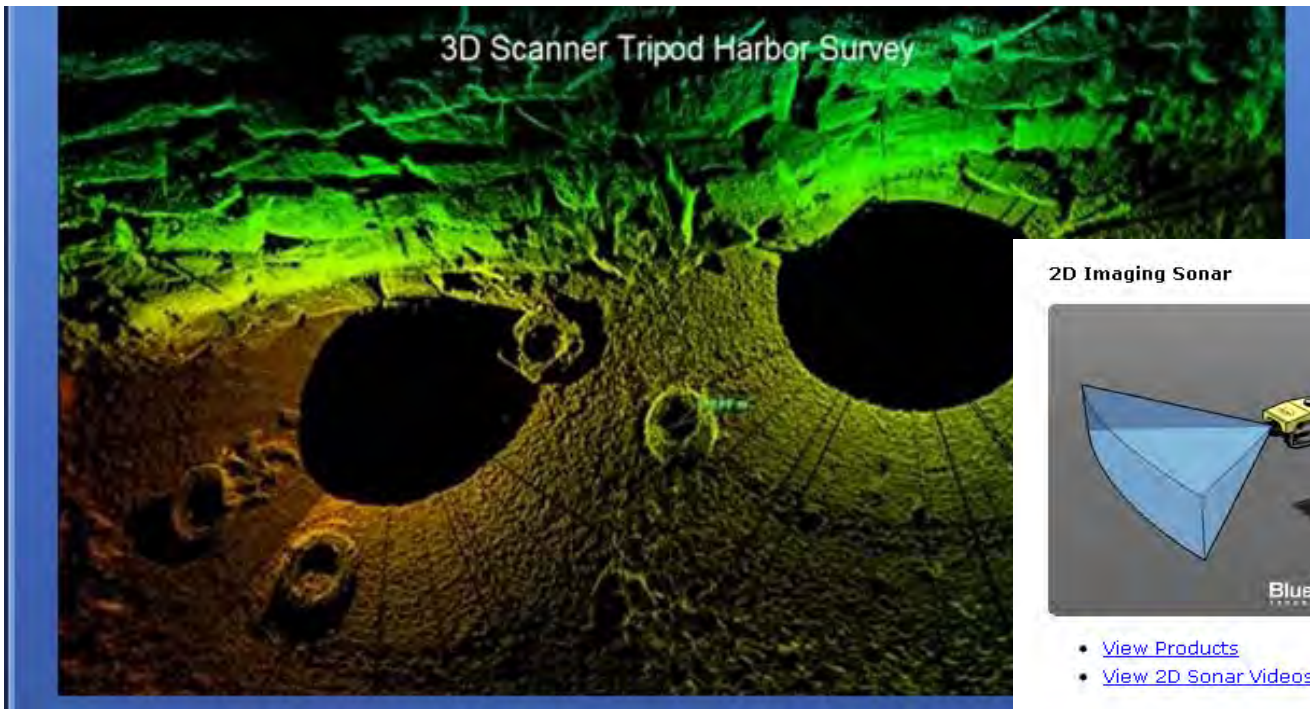


Fotogrammetria

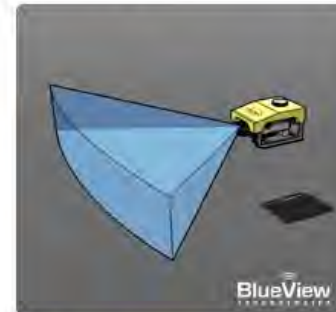
Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da dove partiamo?

Tipologia di strumenti che forniscono nuvole di punti



2D Imaging Sonar



- [View Products](#)
- [View 2D Sonar Videos](#)

3D MicroBathymetry Sonar



- [View Products](#)
- [View 3D MicroBathymetry Videos](#)

3D Mechanical Scanning Sonar



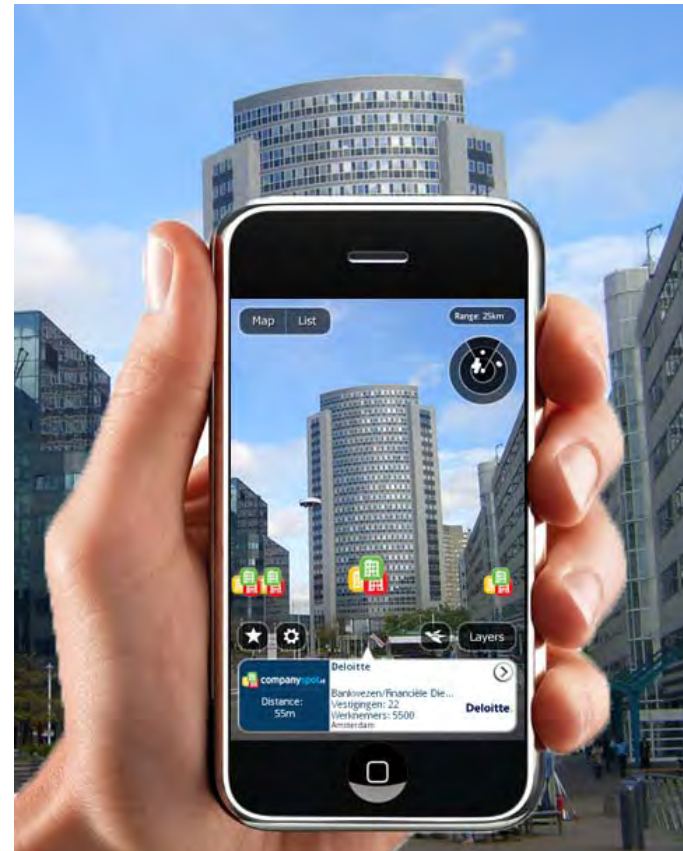
- [View Products](#)
- [View 3D Mechanical Scanning Videos](#)

Sonar

Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da dove partiamo?

Tipologia di strumenti che forniscono nuvole di punti



Nuovi strumenti

Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da vogliamo arrivare:



3D photo-realistic model (Software: JRC 3D Reconstructor) | Modello 3D fotorealistico (Software: JRC 3D Reconstructor)

Introduzione: da dove vengono le nuvole di punti?

Da vogliamo arrivare:



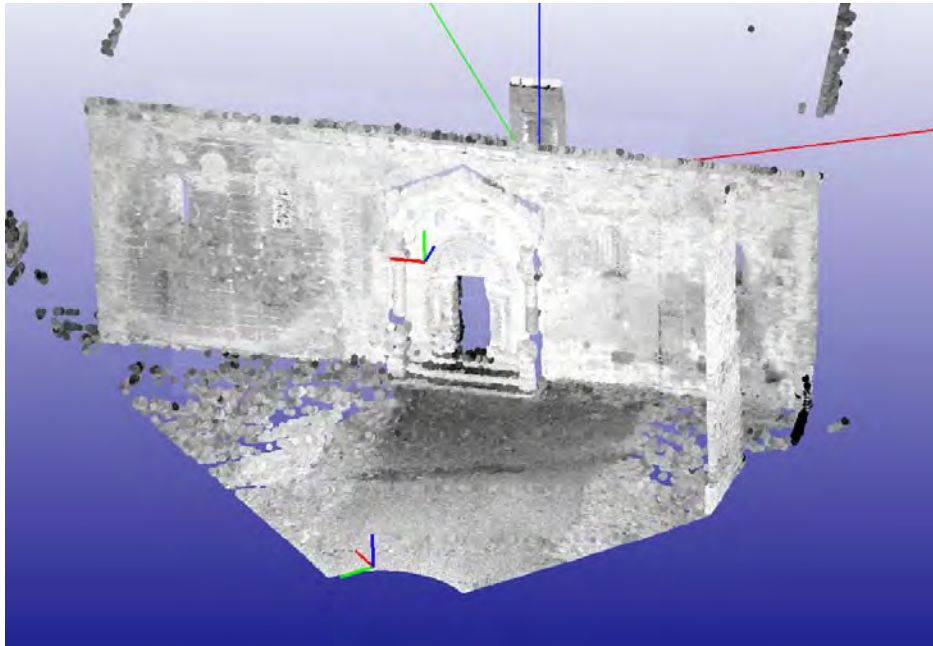
www.gexcel.it

0 1 2 3 4 5

Internal cross section with reflectance information (Software: JRC 3D Reconstructor) | Sezione interna con riflettanza (Software: JRC 3D Reconstructor)

Caratteristiche delle nuvole di punti 3D

Nuvole strutturate, nuvole non strutturate



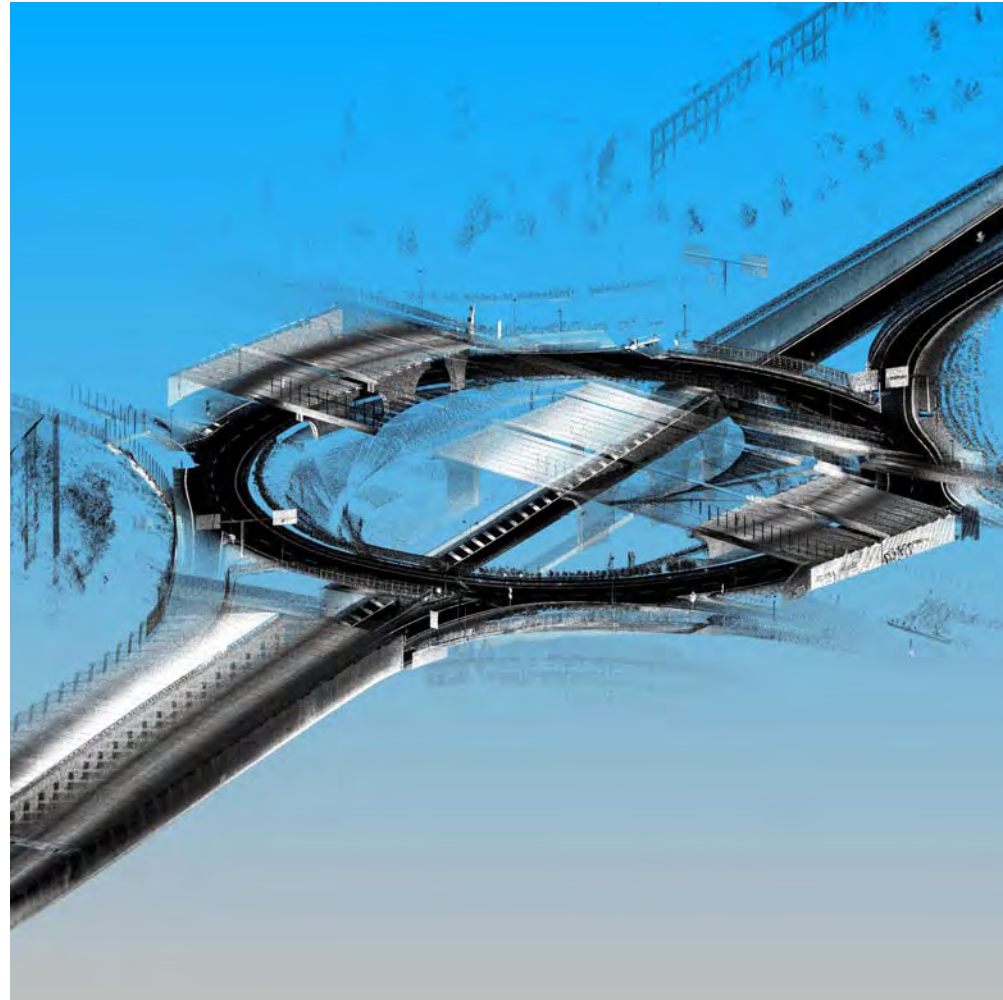
Numero righe	1342					
Numero colonne	1500					
Dati	Righe	Colonne	x	y	z	Riflettanza
	1	1	1.500	2.001	3.215	16
	1	2	3.100	1.265	2.509	120

Nuvola strutturata

Caratteristiche delle nuvole di punti 3D

Nuvole strutturate, nuvole non strutturate

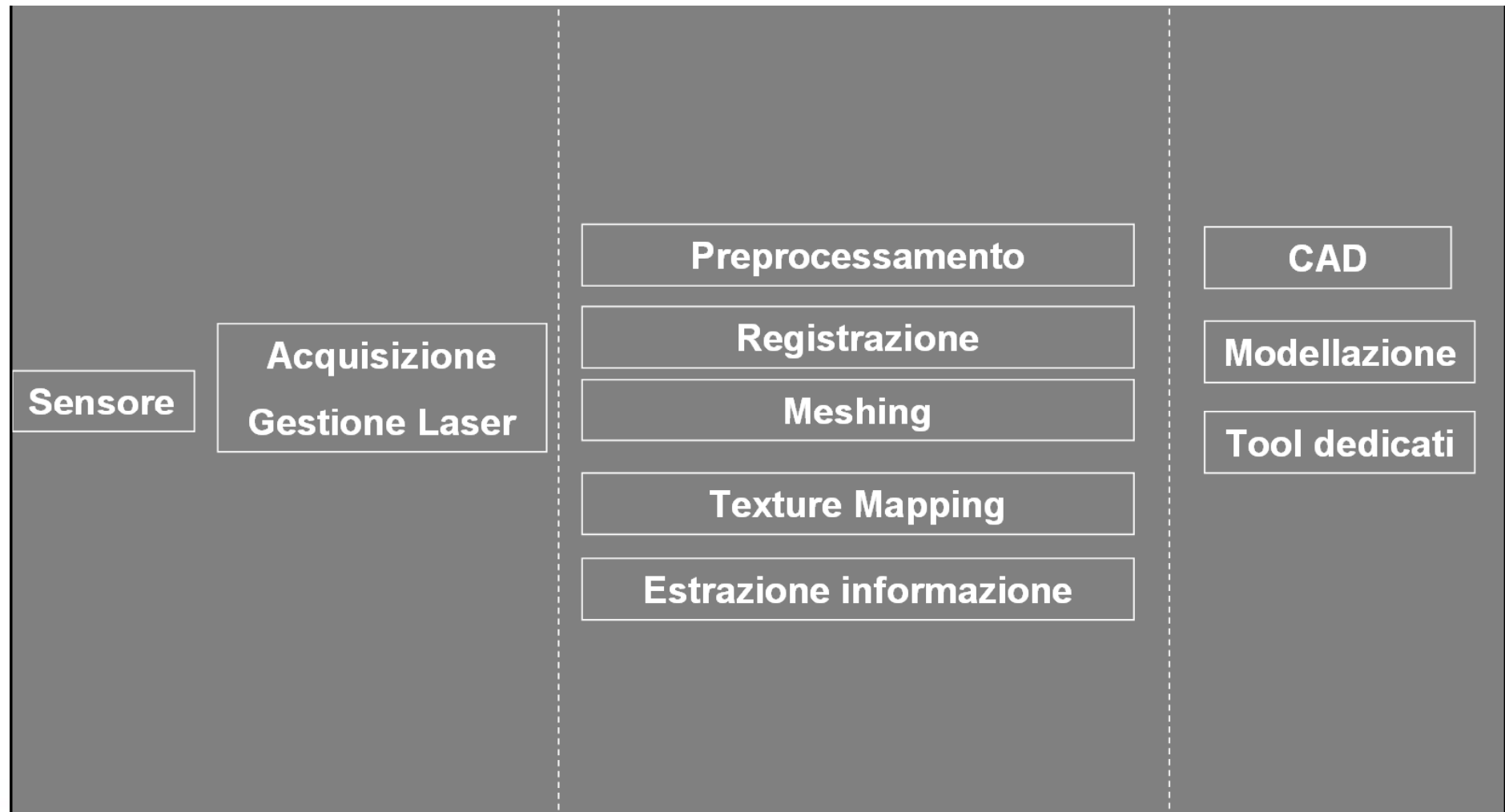
X, Y, Z
 1 10 20
 0 5 35
 1 1 1



Nuvola non strutturata

Come gestire le nuvole di punti

....un esempio di workflow



Come gestire le nuvole di punti

1 Noise Removal Range & Reflectance Gate

Filter to remove points according to range distance or reflectance values:

Min/Max range [m]: lower/upper threshold of the range

All pixels outside this range will be filtered

Min/Max reflectance [reflectance value between 0 and 1]

All measurements that have an intensity value outside the given interval will be filtered

Property	Value
Range max [m]	100.000
Range min [m]	0.000
Reflectance max [0+1]	0.9999
Reflectance min [0+1]	0.0050

Noise Removal

2 Noise Removal Median Filter

Filter to smooth the point cloud from local noise roughness.

For each point (=pixel) the software assigns the median value calculated using the N point in the square mash centered on the same point.

For example Mask border=1 means a 3x3 windows, so the median is calculated according to 9 points. Larger is the Mask border, smoother is the final point cloud

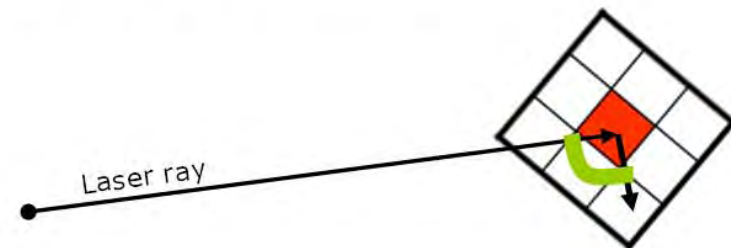
Property	Value
Mask border [pix]	1

4 Noise Removal Mixed Point Filter

Filter to remove wrong points aligned along the laser ray direction (for example points close to edges - see next slide -, or points viewed from a steep angle, or mixed points from phase shift laser). Defined the laser ray as the vector between the scanner and the acquired point (in red), the software calculates the angle between the laser ray and the vector connecting the center point with each points in the mask. If at list one **angle** is < the Min incident angle, the acquired point is deleted.

Higher is the Mask border, more points will be deleted. Higher is the Min incident angle, more points will be deleted

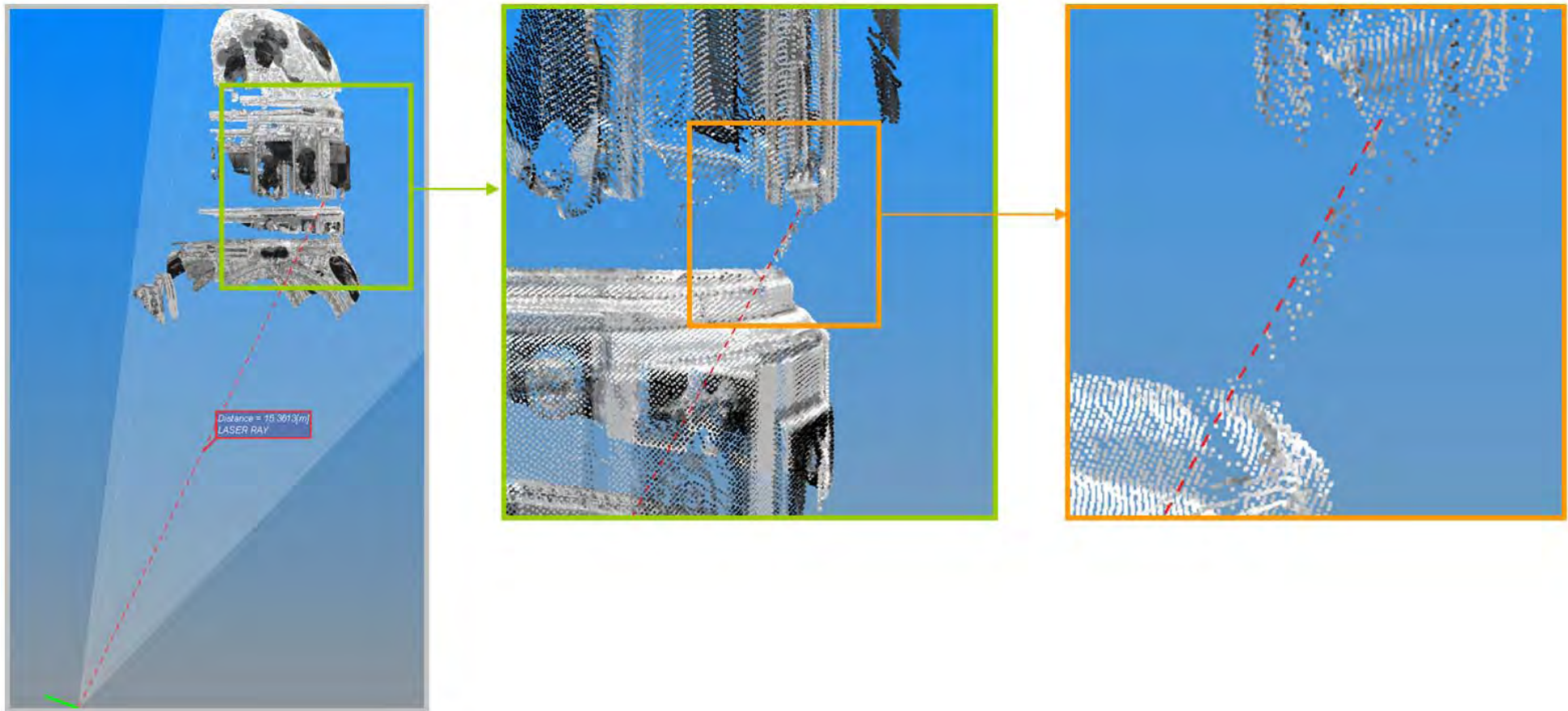
Property	Value
Mask border [pix]	1
Min incident angle [deg]	5.0



Filtri di rimozione del rumore

Come gestire le nuvole di punti

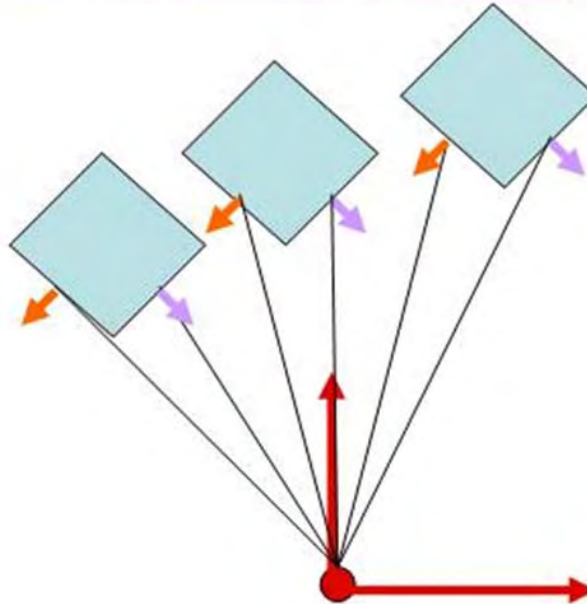
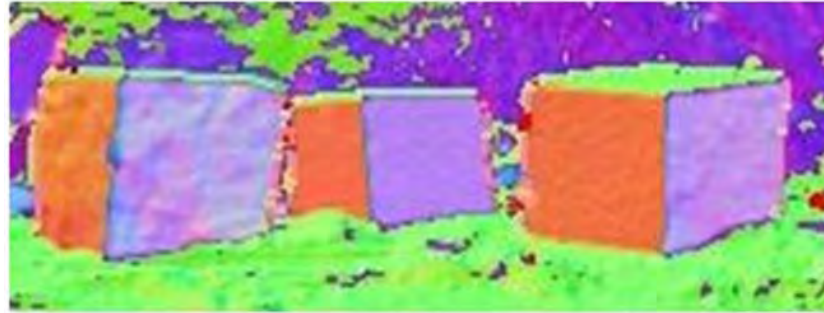
Filtraggio



Filtri di rimozione del rumore

Come gestire le nuvole di punti

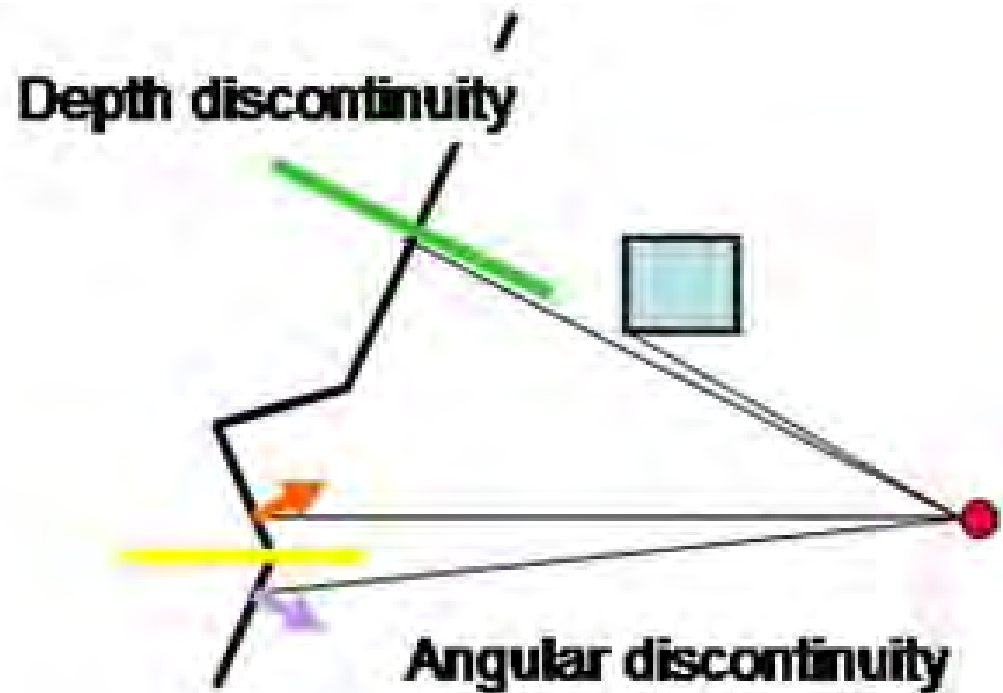
Filtraggio



Calcolo delle normali dei punti

Come gestire le nuvole di punti

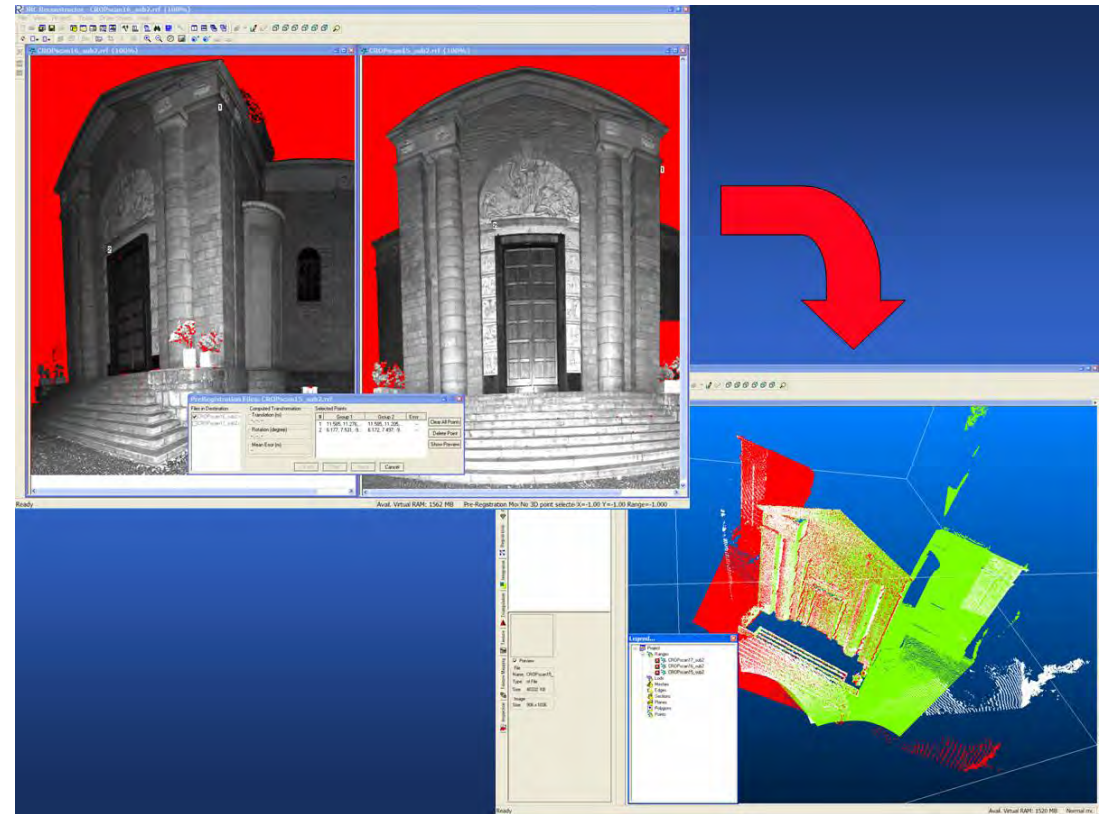
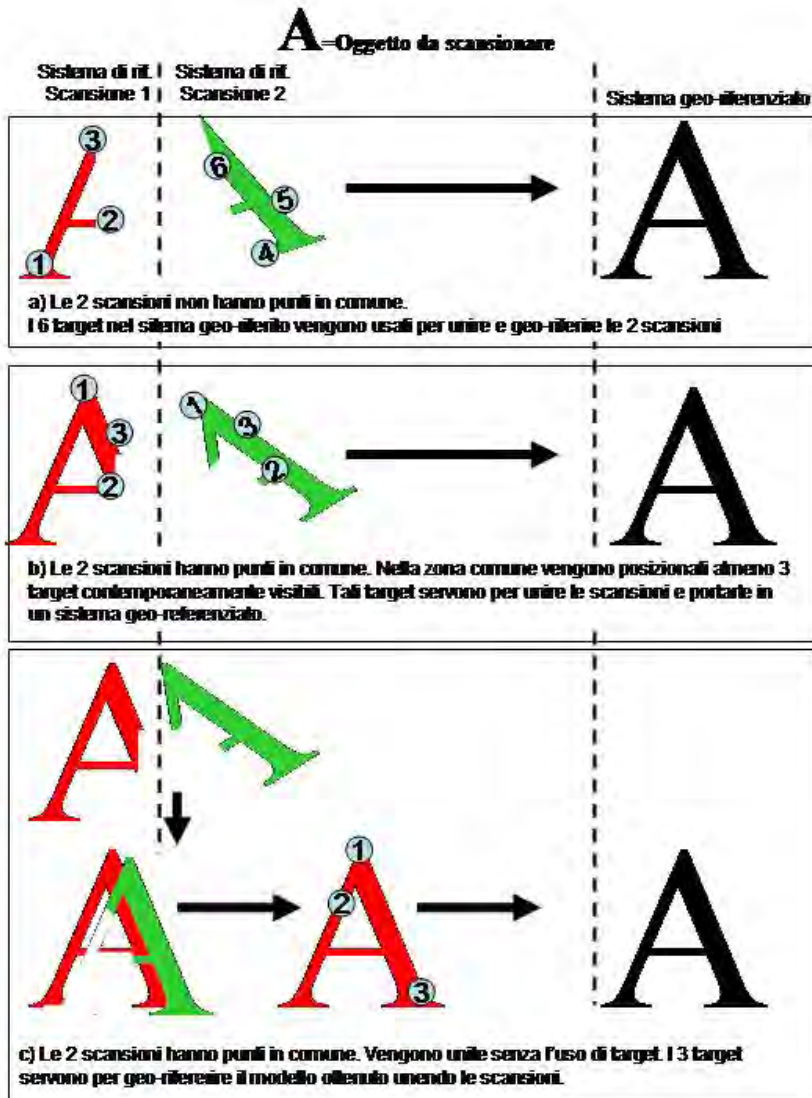
Filtraggio



Edge detection

Come gestire le nuvole di punti

Allineamento



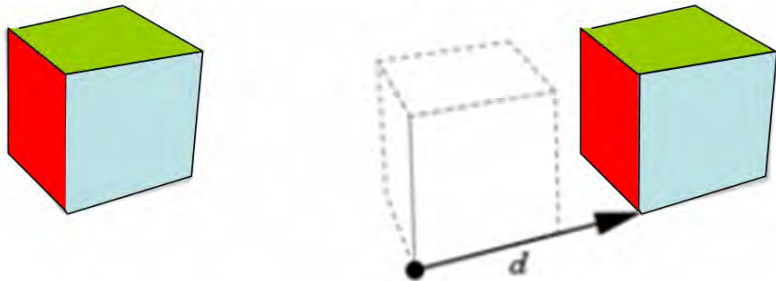
Come gestire le nuvole di punti

Allineamento

TRASFORMAZIONI RIGIDE: TRASLAZIONE

Trasformazione affine che sposta *i punti* sommando a tutti i punti un vettore di spostamento d :

$$P' = P + d$$



La traslazione non ha effetto sui vettori!

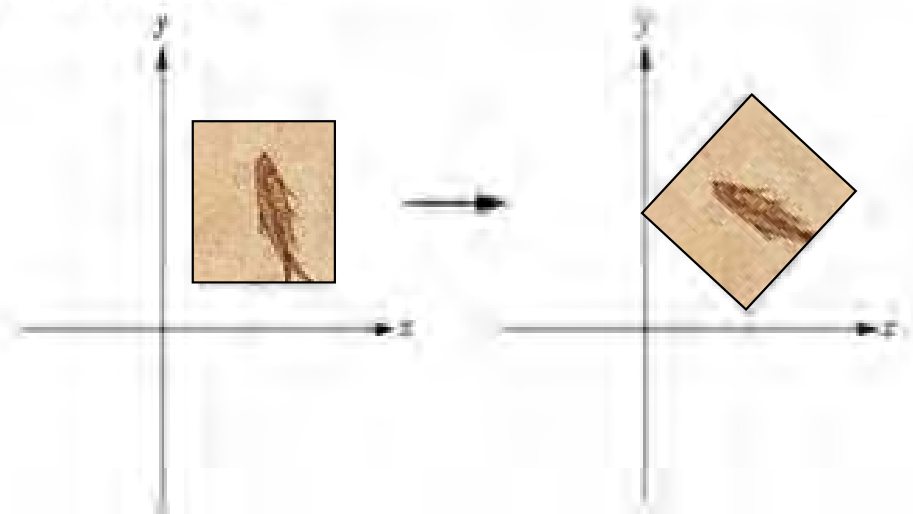
~~$$v' = v + d$$~~

$$v' = v$$

Trasformazione rigida che lascia un solo punto fisso (centro di rotazione)

Equivalente a rotazione 3D attorno a un asse:

- passante per il punto fisso
- parallelo all'asse z



Come gestire le nuvole di punti

Allineamento

Caso semplice:

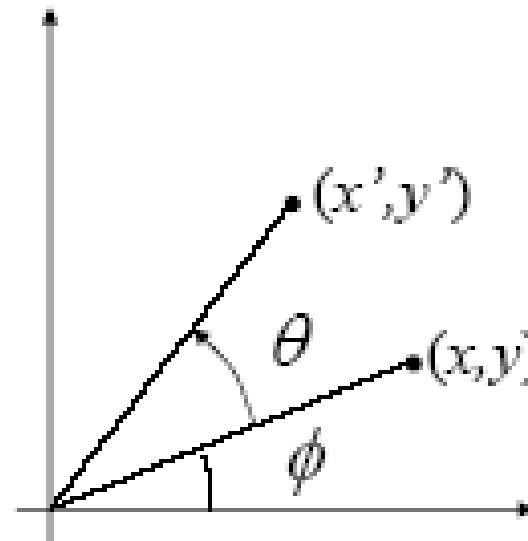
- rotazione intorno all'origine (asse z) di un'angolo θ
- esprimiamo in punti in coordinate polari

$$x = \rho \cos \phi$$

$$y = \rho \sin \phi$$

$$x' = \rho \cos(\phi + \theta)$$

$$y' = \rho \sin(\phi + \theta)$$



Come gestire le nuvole di punti

Allineamento

$$x = \rho \cos \phi$$

$$y = \rho \sin \phi$$

$$x' = \rho \cos \phi \cos \theta - \rho \sin \phi \sin \theta = x \cos \theta - y \sin \theta$$

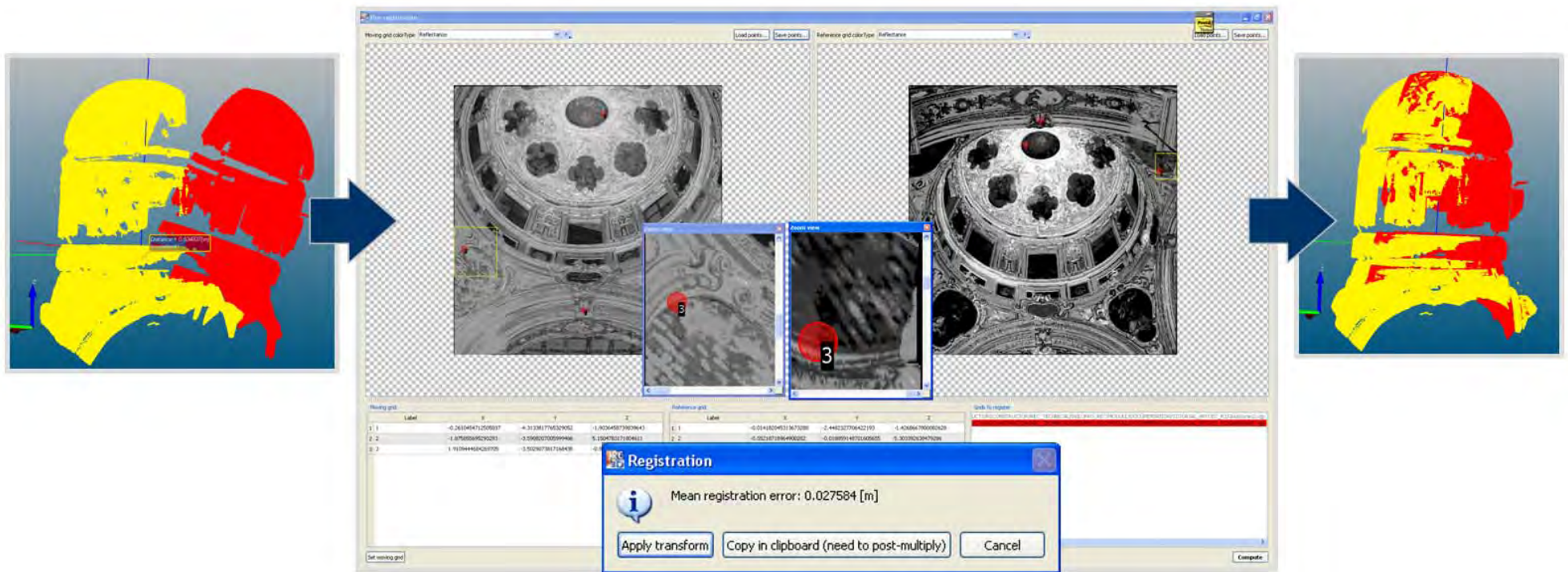
$$y' = \rho \cos \phi \sin \theta + \rho \sin \phi \cos \theta = x \sin \theta + y \cos \theta$$

$$z' = z$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

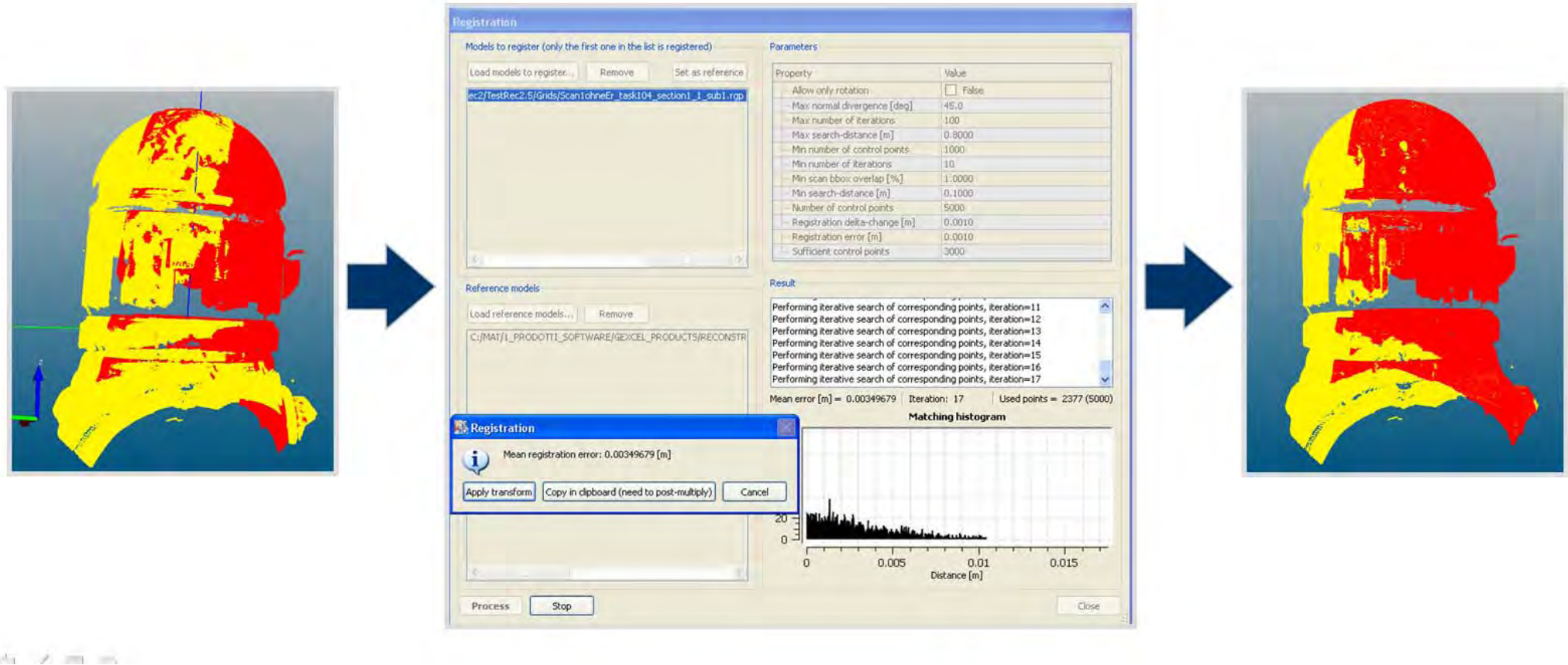
Come gestire le nuvole di punti

Allineamento



Come gestire le nuvole di punti

Allineamento



The diagram illustrates the process of point cloud registration. It begins with two separate point cloud models, one colored yellow and the other red, which are not yet aligned. An arrow points to a central software window titled 'Registration'. This window contains several sections: 'Models to register' (with a list of files), 'Parameters' (a table of registration settings), 'Reference models', 'Result' (a log of iterative search steps), and a 'Matching histogram' (a graph showing the distribution of point-to-point distances). A smaller dialog box is also shown, displaying the 'Mean registration error: 0.00349679 [m]' and buttons for 'Apply transform', 'Copy in clipboard (need to post-multiply)', and 'Cancel'. A final arrow points to the result: the two point clouds are now perfectly aligned and overlaid on each other.

Property	Value
Allow only rotation	<input type="checkbox"/> False
Max normal divergence [deg]	45.0
Max number of iterations	100
Max search-distance [m]	0.8000
Min number of control points	1000
Min number of iterations	10
Min scan bbox overlap [%]	1.0000
Min search-distance [m]	0.1000
Number of control points	5000
Registration delta-change [m]	0.0010
Registration error [m]	0.0010
Sufficient control points	3000

Result Log:

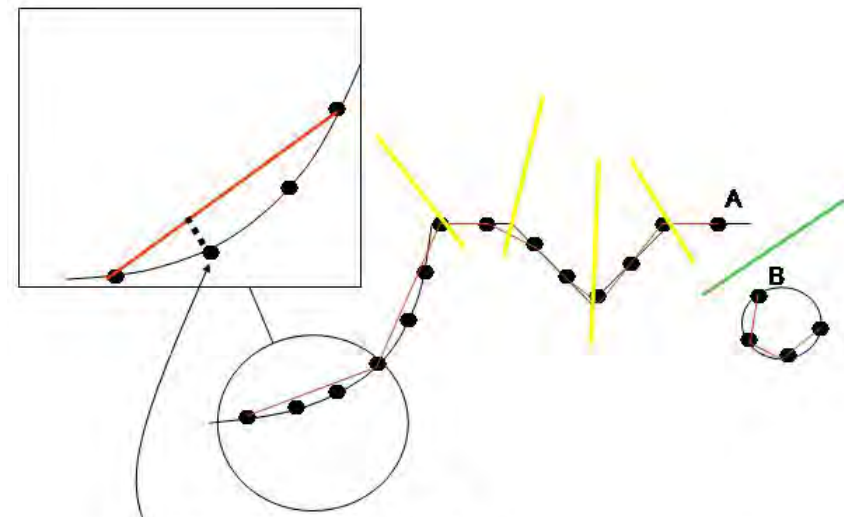
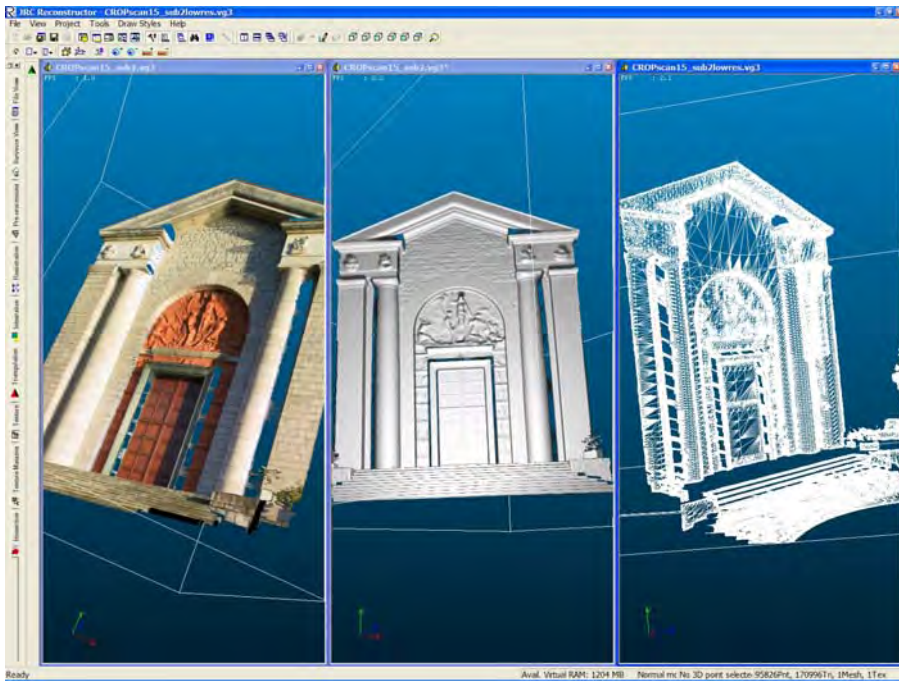
- Performing iterative search of corresponding points, iteration=11
- Performing iterative search of corresponding points, iteration=12
- Performing iterative search of corresponding points, iteration=13
- Performing iterative search of corresponding points, iteration=14
- Performing iterative search of corresponding points, iteration=15
- Performing iterative search of corresponding points, iteration=16
- Performing iterative search of corresponding points, iteration=17

Mean error [m] = 0.00349679 | Iteration: 17 | Used points = 2377 (5000)

Matching histogram: Distance [m] (0 to 0.015)

Come gestire le nuvole di punti

Creazione di mesh

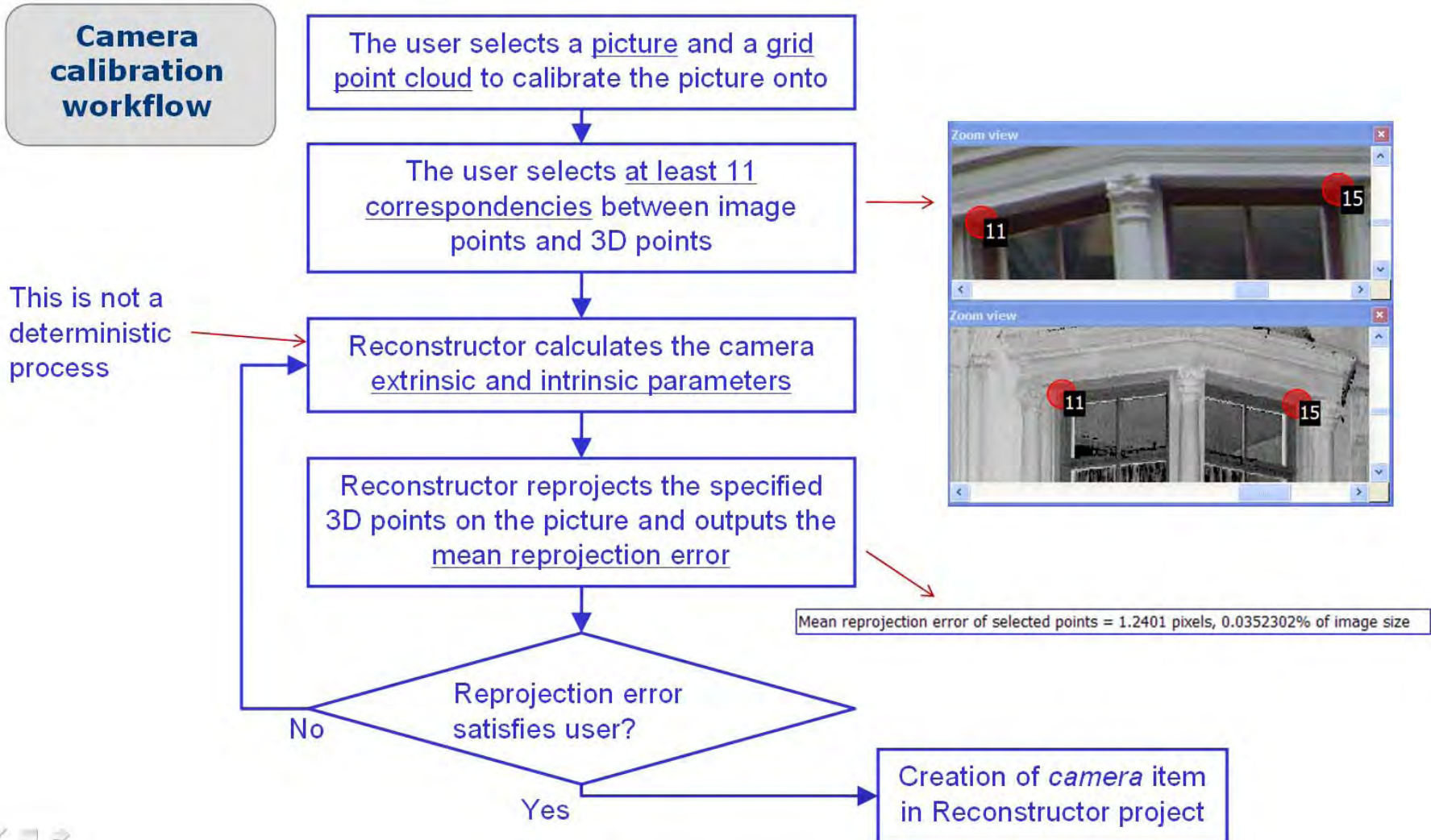


Valutazione dell'accuratezza

- Punti rilevati
- Oggetto reale
- Triangolazioni
- Risoluzione iniziale=2 -> Passo di scansione $2^2=4$
- Discontinuità di distanza
- Discontinuità angolari

Come gestire le nuvole di punti

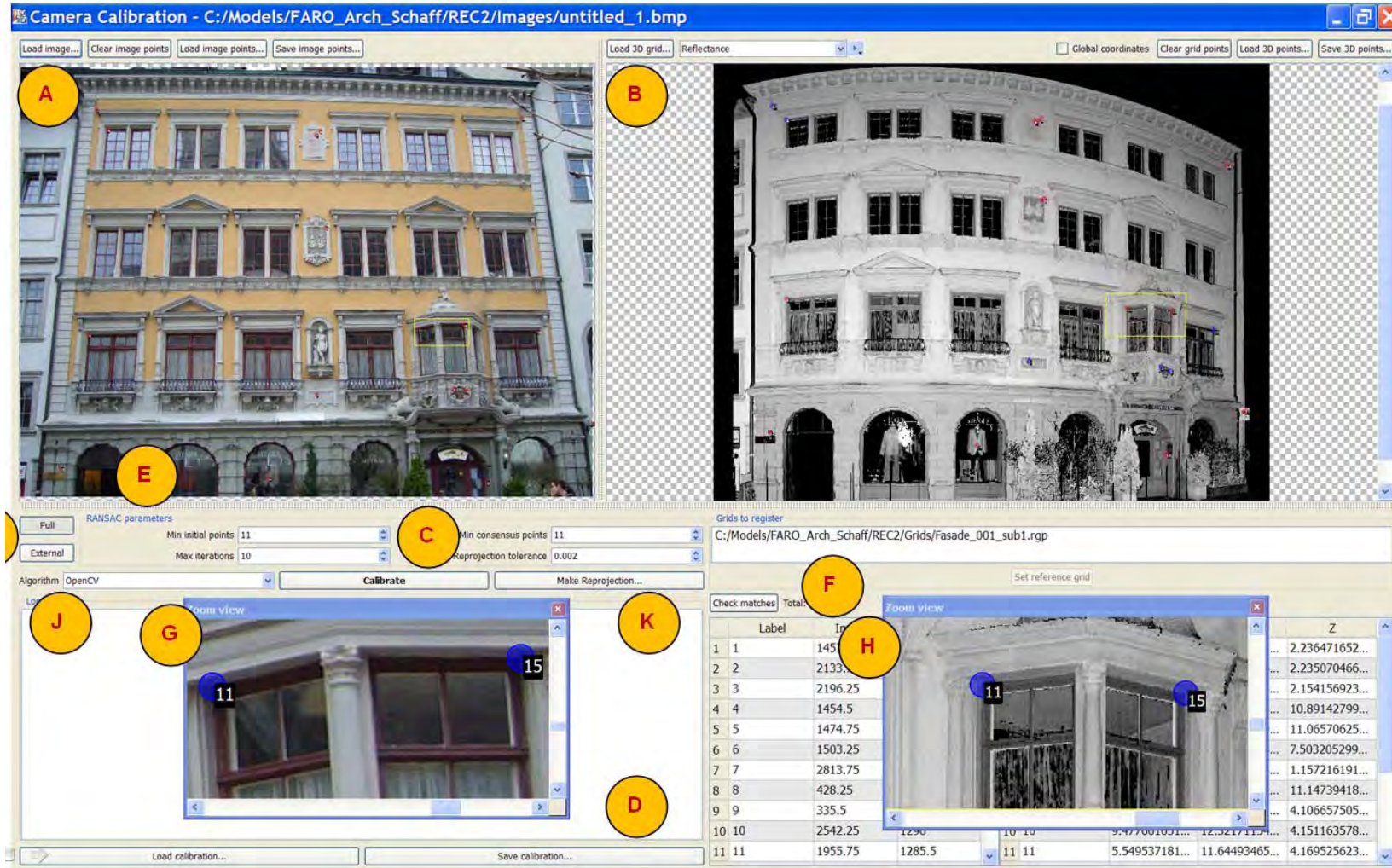
Mappatura fotografica



Calibrazione e orientamento delle camera

Come gestire le nuvole di punti

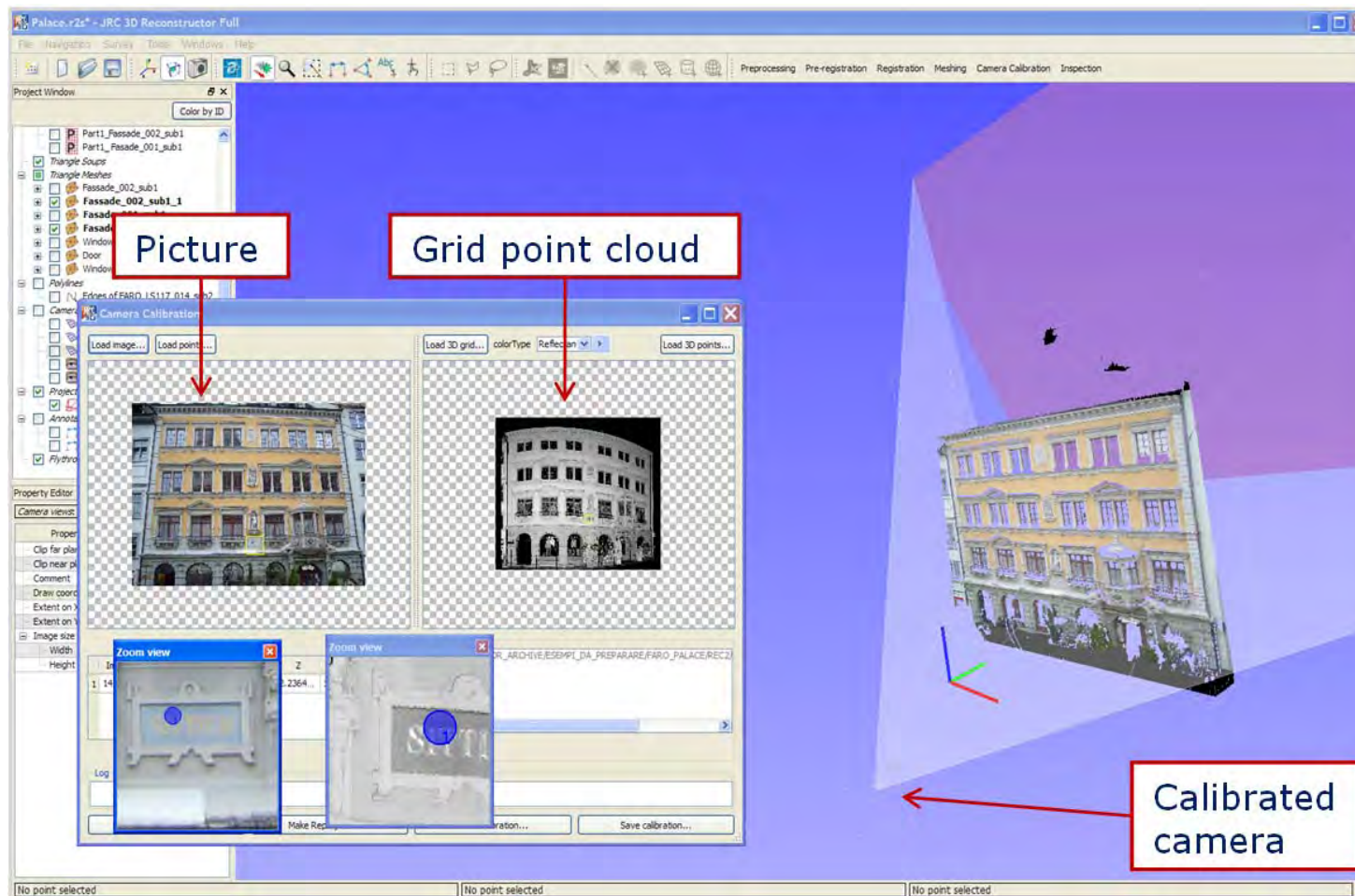
Mappatura fotografica



Calibrazione e orientamento delle camera

Come gestire le nuvole di punti

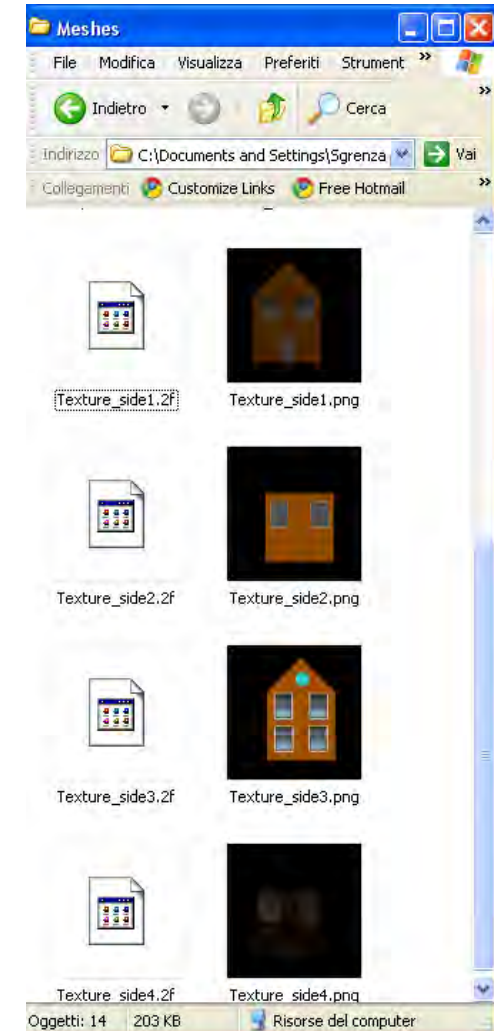
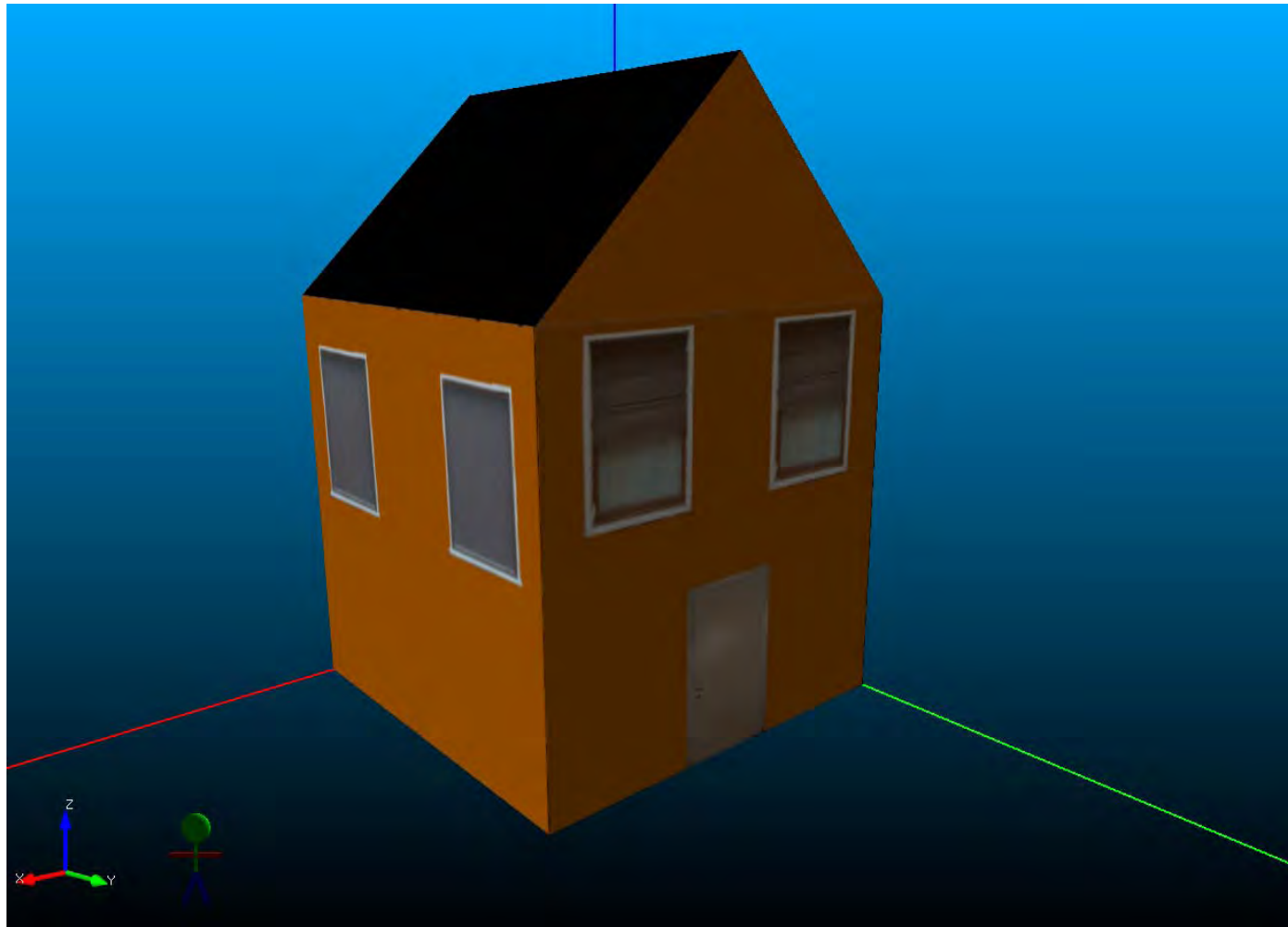
Mappatura fotografica



Riproiezione della foto calibrata e orientata sul modello 3D

Come gestire le nuvole di punti

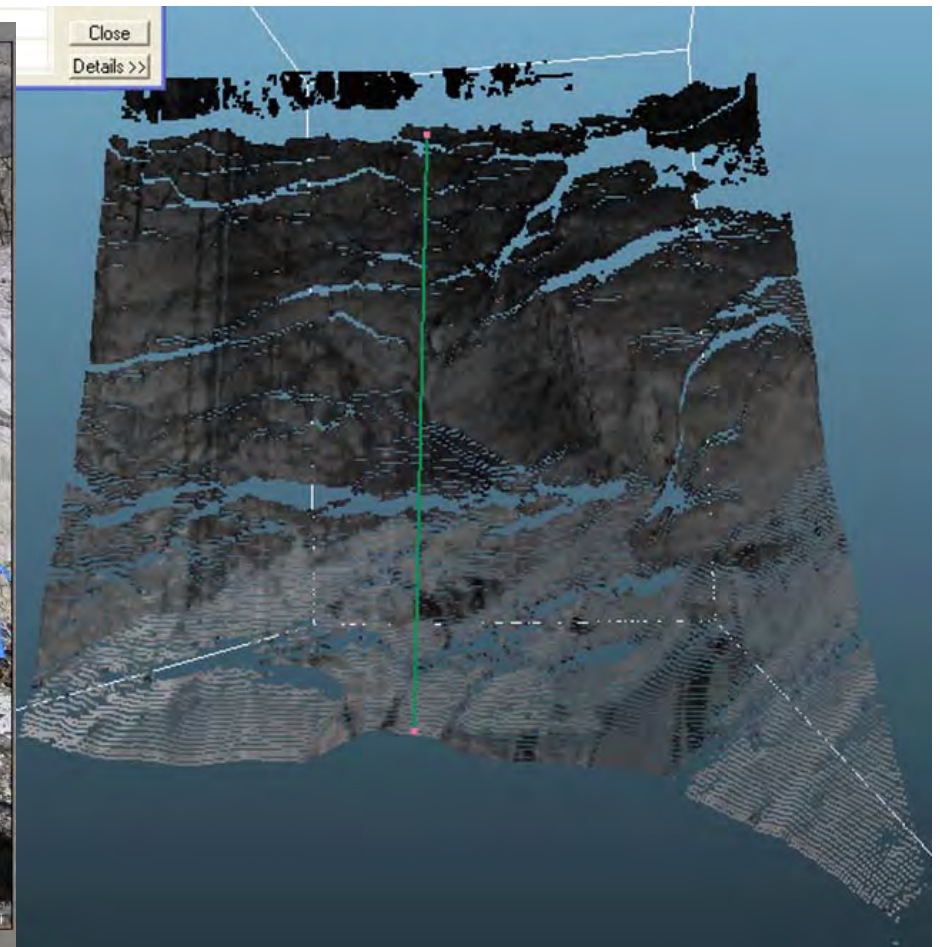
Mappatura fotografica



Texture mapping

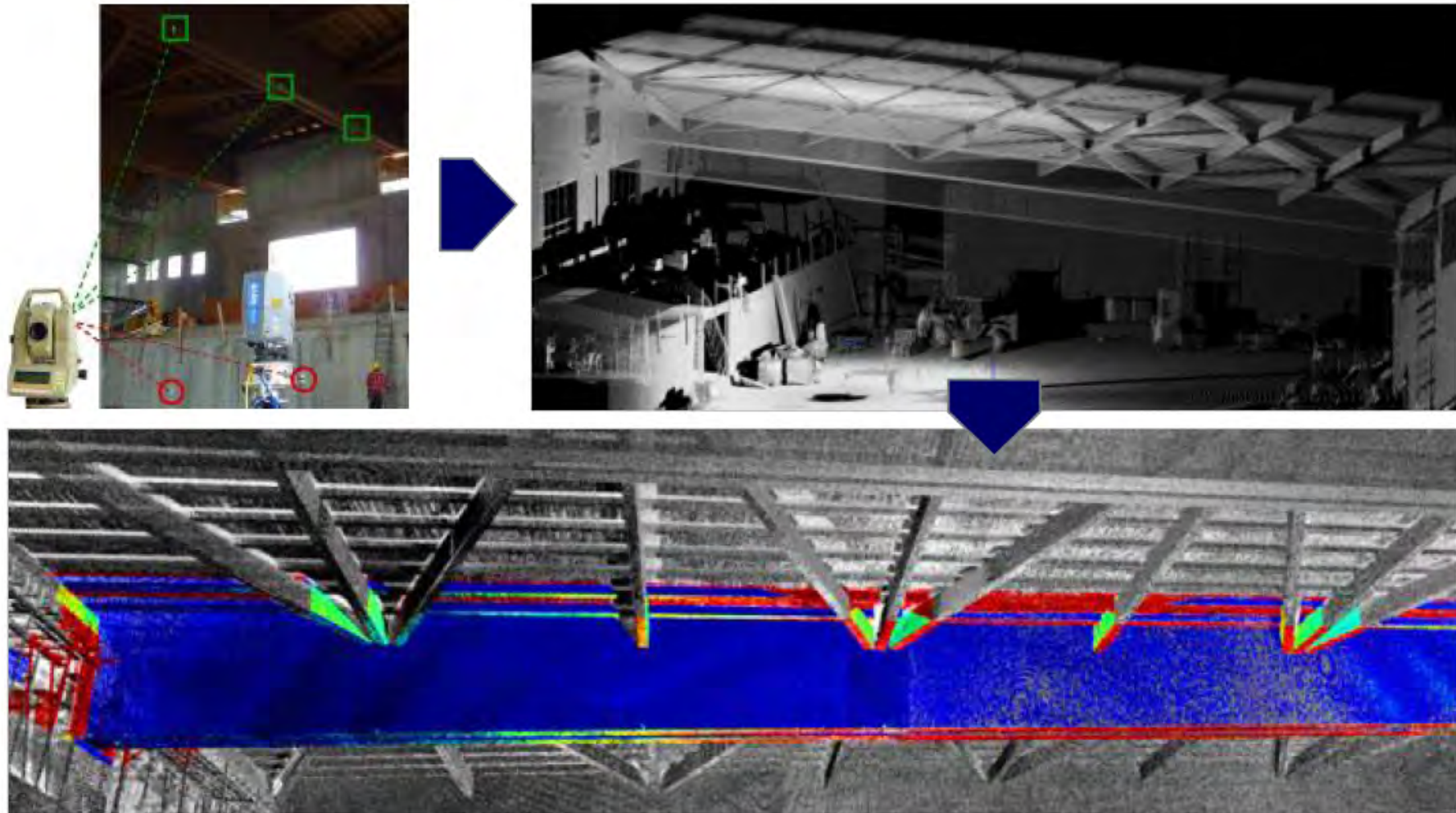
Esempi applicati di utilizzo di nuvole di punti

Applicazioni territoriali: cave, frane, alvei, ghiacciai...



Esempi applicati di utilizzo di nuvole di punti

Ingegneria



Esempi applicati di utilizzo di nuvole di punti

Forensic

