

3D Scanning a basso costo con luce strutturata

Claudio Rocchini

Visual Computing Group

ISTI-CNR, Pisa

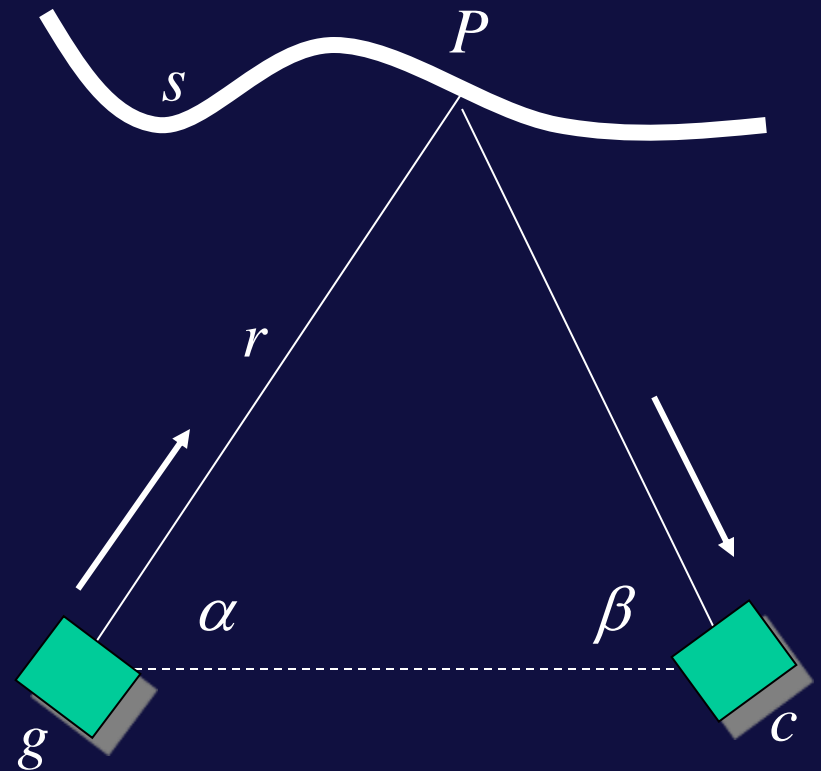
Cos'è uno 3D scanner ?

- Un dispositivo atto alla rilevazione della geometria di un oggetto reale.
- Varie tecnologie di acquisizione
 - Dispositivi meccanici (tastatori)
 - Ottici (laser, luce strutturata)
 - Sonar, radar, TAC, ...
- Dispositivi in commercio (80-200 MLire).
- Molti campi di applicazione.



3D Scanner: Principio di base

- Il generatore g proietta il raggio r ...
- ... che colpisce la superficie s nel punto P .
- Il rilevatore c determina l'angolo del raggio di ritorno.
- Conoscendo la posizione di g e c si può calcolare P .



Propositi

- Realizzare un 3D scanner a basso costo e di qualità accettabile.
- Utilizzare hardware di consumo, che promette:
 - Diminuzione progressiva dei costi
 - Veloce sviluppo tecnologico (si pensi allo sviluppo delle schede grafiche 3D, trainato dal mercato dei videogiochi).

Il videoproiettore

- Dispositivo di proiezione di sorgenti video.
- Diffusione nel settore di consumo.
- Diminuzione dei prezzi (5 Mlire).
- Nuove tecnologie di alta qualità (LP, 1024x768, alta luminosità).



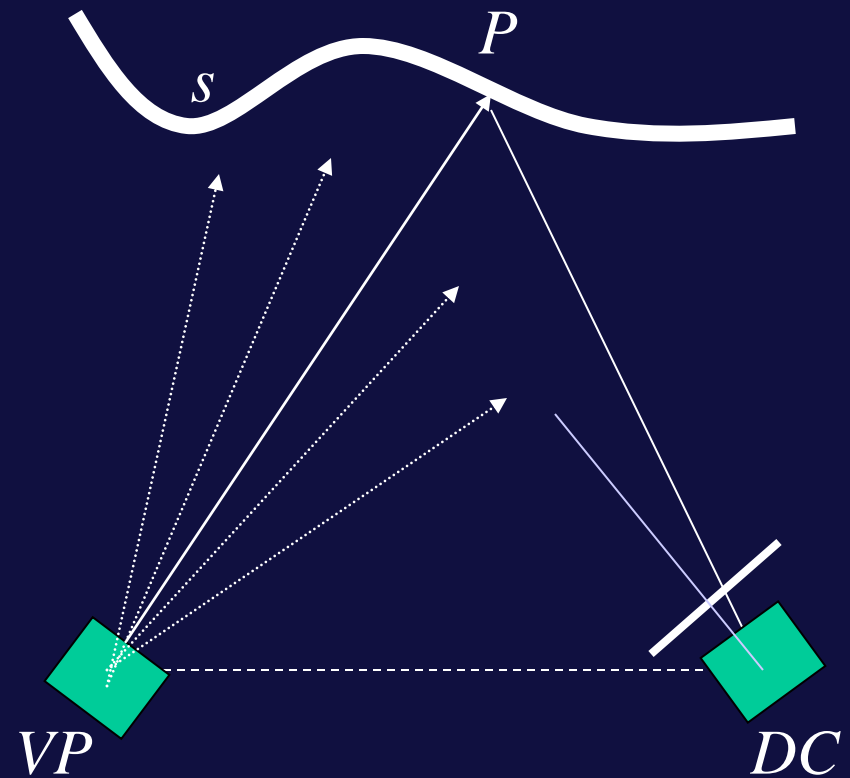
La fotocamera digitale

- Dispositivo per acquisizione di foto digitali.
- Diffusione nel mercato di consumo.
- Basso costo (1,500,000).
- Miglioramento progressivo della tecnologia (1800x1200 true color).
- Connessione USB.



3D Scanning con VP^* e DC^{**}

- Il proiettore genera una serie di strisce verticali.
- La fotocamera rileva la posizione delle strisce sull'immagine.



* Video Proiettore

** Digital Camera

Motivazioni

Pro



- Basso costo dell'hardware (nullo se già lo si possiede).
- Sviluppo tecnologico
- Adattabilità del sistema ad esigenze specifiche.

Contro



- Media precisione.
- Media velocità di acquisizione.
- Richiede procedura di calibrazione.

Stripe Laser

La stripe si muove
nel tempo e percorre
l'oggetto.

Per ogni istante di
tempo si acquisisce
la geometria
dell'intera stripe.



Pattern a luce strutturata

- Codifica binaria temporale dello spazio.
- Si rileva la transizione del segnale (passaggio dal bianco al nero).
- Phase shift per superare la risoluzione del sensore.

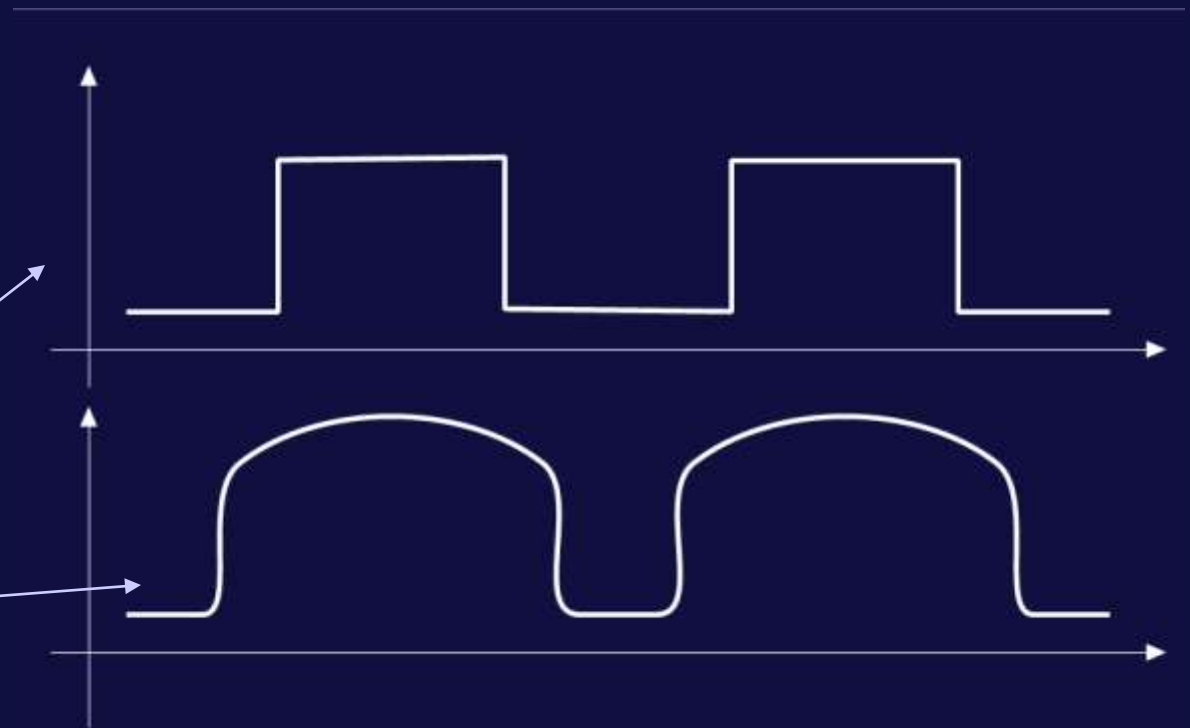


Espansione del bianco

Il CCD (come l'occhio umano) espande le zone chiare.

Segnale

Risposta CCD

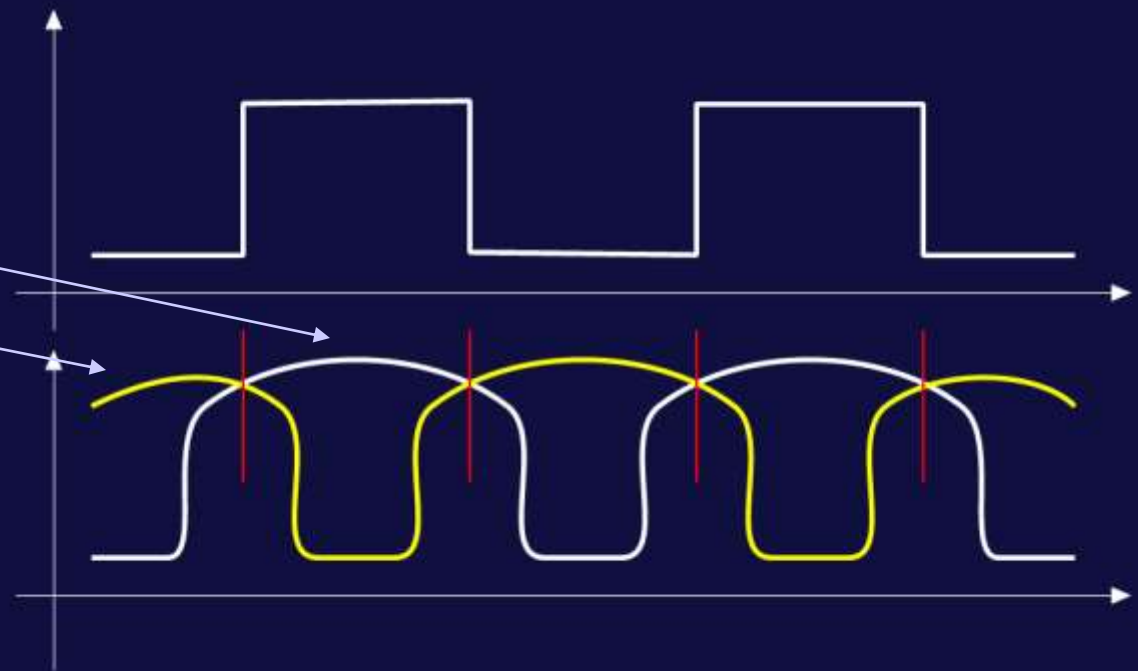


Pattern Positivo/Negativo

Pattern

Pattern inverso

Determinazione
frangia come
intersezione



Nostra soluzione

- Fondere i due metodi: pattern misto stripe + bande di codifica spaziale.
- Utilizzo dei colori rosso-blu per la codifica.
- Utilizzo del verde (piu' definito) per la stripe.



Pattern misto

Vantaggi del pattern misto:

- Maggiore precisione: rilevamento della stripe (picco di massimo) invece che della transizione chiaro-scuro.
- 50% di pattern in meno; non serve il pattern negativo (velocita' di acquisizione doppia).

Particolari implementativi

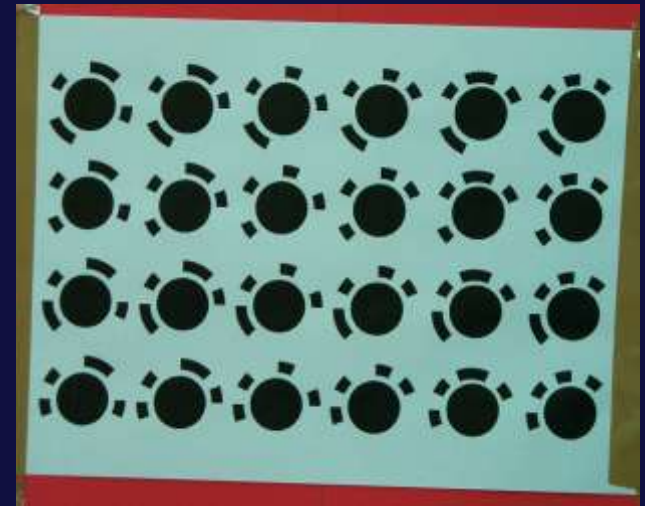
- Calibrazioni
- Generazione Pattern
- Rilevazione stripe e bande
- Triangolazione
- Generazione superficie

Calibrazioni

- Calibrazione intrinseca della camera:
 - una tantum a fuoco, zoom e diaframma fissati;
 - rileva la distanza focale, centro prospettico e parametri di distorsione radiale.
- Calibrazione intrinseca del proiettore:
 - una tantum a fuoco e zoom fissati;
 - rileva le coordinate del fascio di piani generato dalle colonne di pixels.
- Calibrazione posizionamento relativo:
 - una tantum per posizionamento del dispositivo;
 - rileva la rototraslazione del proiettore rispetto alla camera.

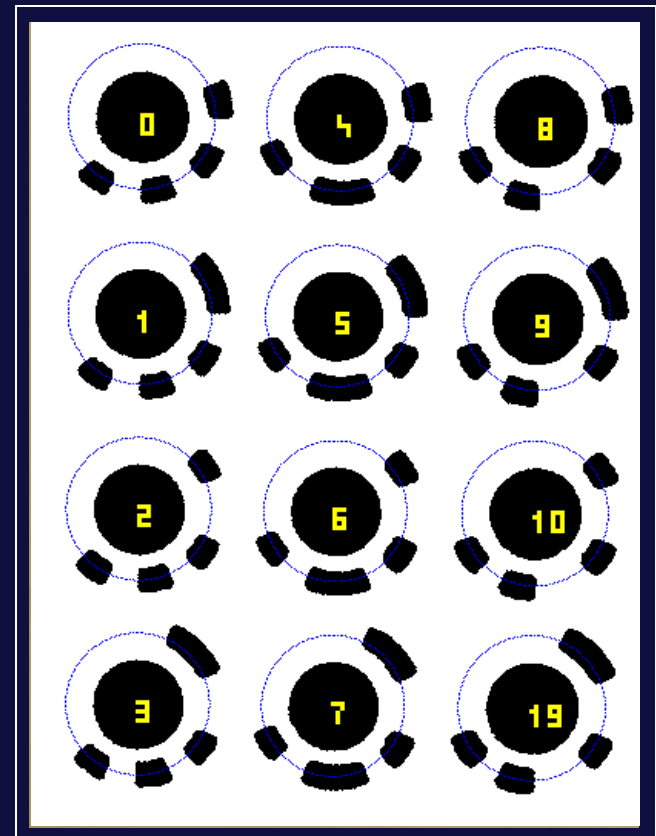
Calibrazione Camera (1/2)

- Rilevazione di:
 - Distanza focale
 - Centro prospettico
 - Parametri di distorsione radiale
- Metodo standard (Tsai 87).
 - Necessita di una serie di coppie di (coordinate immagine - coordinate spaziali) note.
 - I dati sono ricavati per mezzo di un probe.



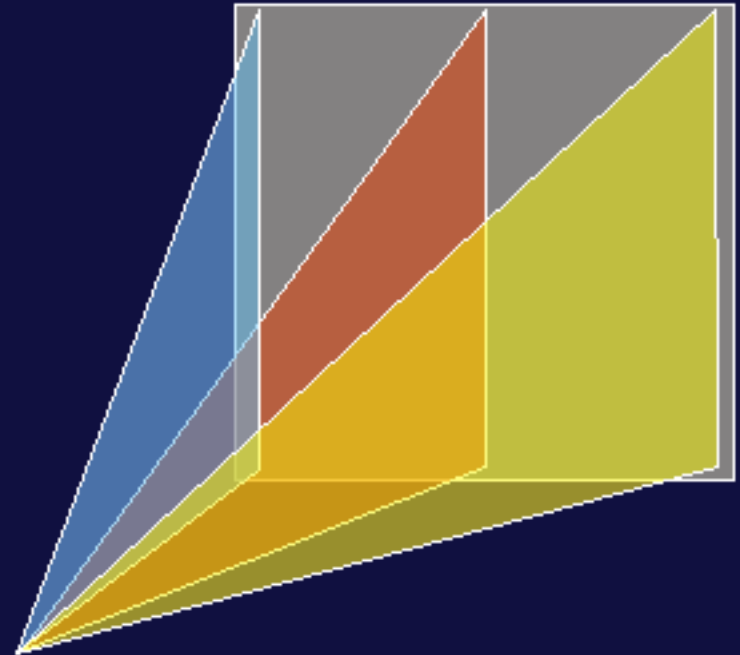
Calibrazione Camera (2/2)

- Identificazione e rilevamento dei markers:
 - Quantizzazione adattiva dell'immagine e filtraggio.
 - Rilevamento componenti connesse.
 - Calcolo baricentro e assi principali ellissi (precisione sub-pixel).
 - Ricerca e calcolo del codice a barre per l'identificazione.



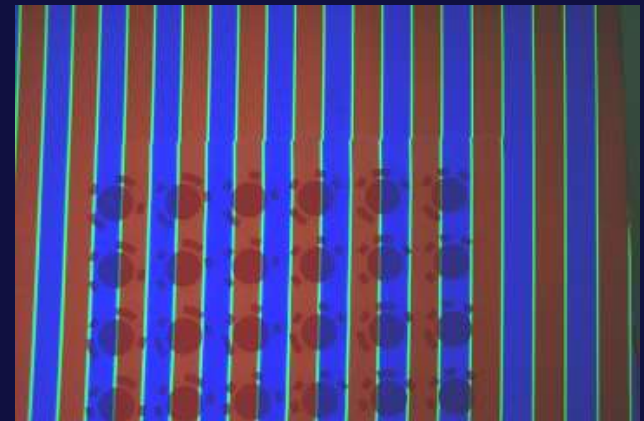
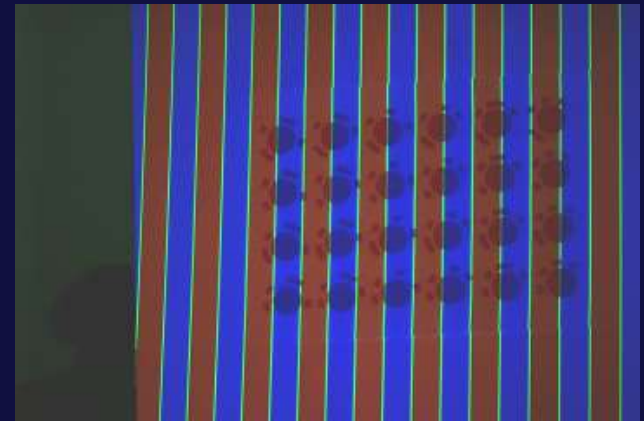
Calibrazione proiettore (1/3)

- Determina le coordinate del fascio di piani generato dalle colonne di pixel del proiettore.
- Necessita dell'acquisizione del probe in due posizioni qualsiasi non note a priori.



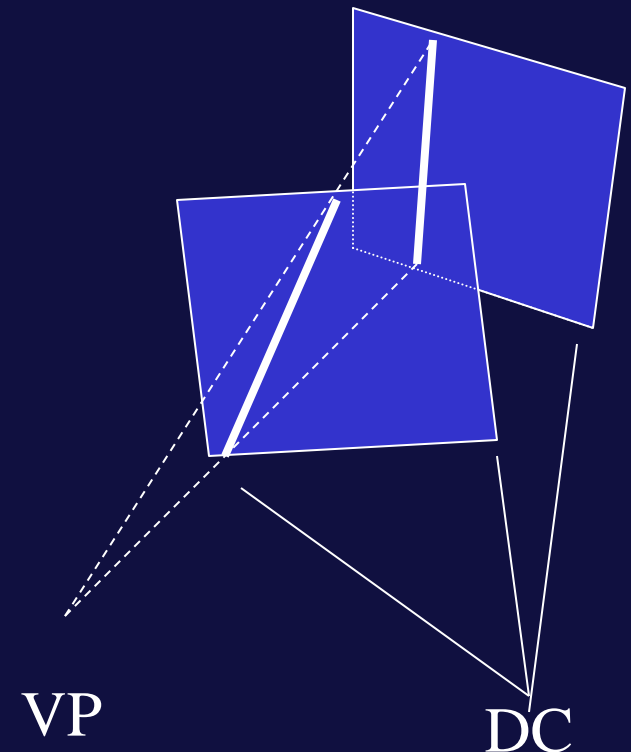
Calibrazione proiettore (2/3)

- La posizione 3D dei probe è ricavata automaticamente grazie ai markers.
- Sul piano dei probe si ricava la proiezione della stripe verticale.
- Si calcola i parametri delle rette contenute nel piano dei probe (line fitting).

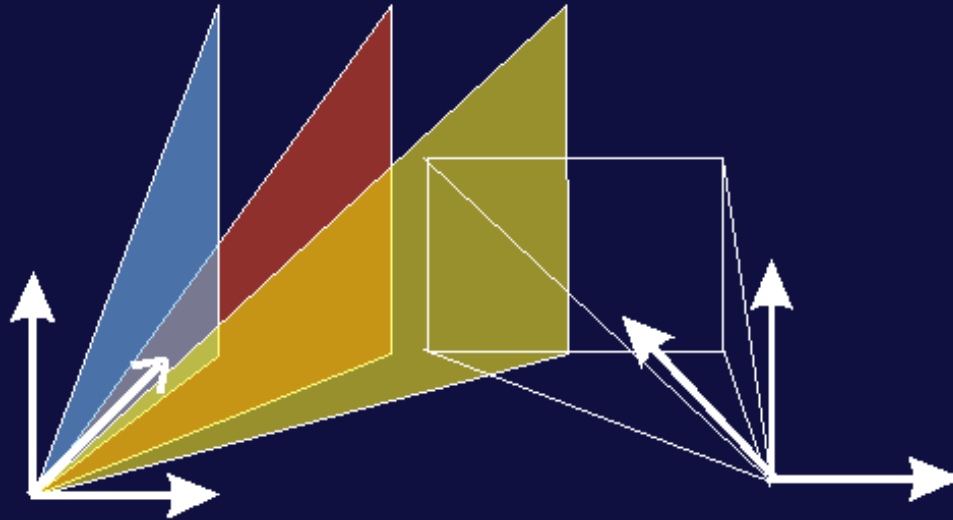


Calibrazione proiettore (3/3)

- Si calcola il piano passante per le due rette.
- L'acquisizione di un singolo piano può essere affetta da errori:
 - necessaria una fase finale di fitting globale dei vari piani.



Calibrazione posizione



- Determina la rototraslazione fra il sistema di riferimento della camera e quello del fascio di piani del proiettore.
- Si ricava ricquisendo il probe in una posizione qualsiasi in modo analogo alla calibrazione del proiettore.

Scansione

- Processo di scansione
 - Generazione sequenza di stripe (Proiettore).
 - Acquisizione immagini risultati (Fotocamera).
 - Individuazione e identificazione delle stripes.
 - Calcolo posizione spaziale dei punti acquisiti tramite intersezione raggio-piano.
 - Triangolazione dei punti acquisiti

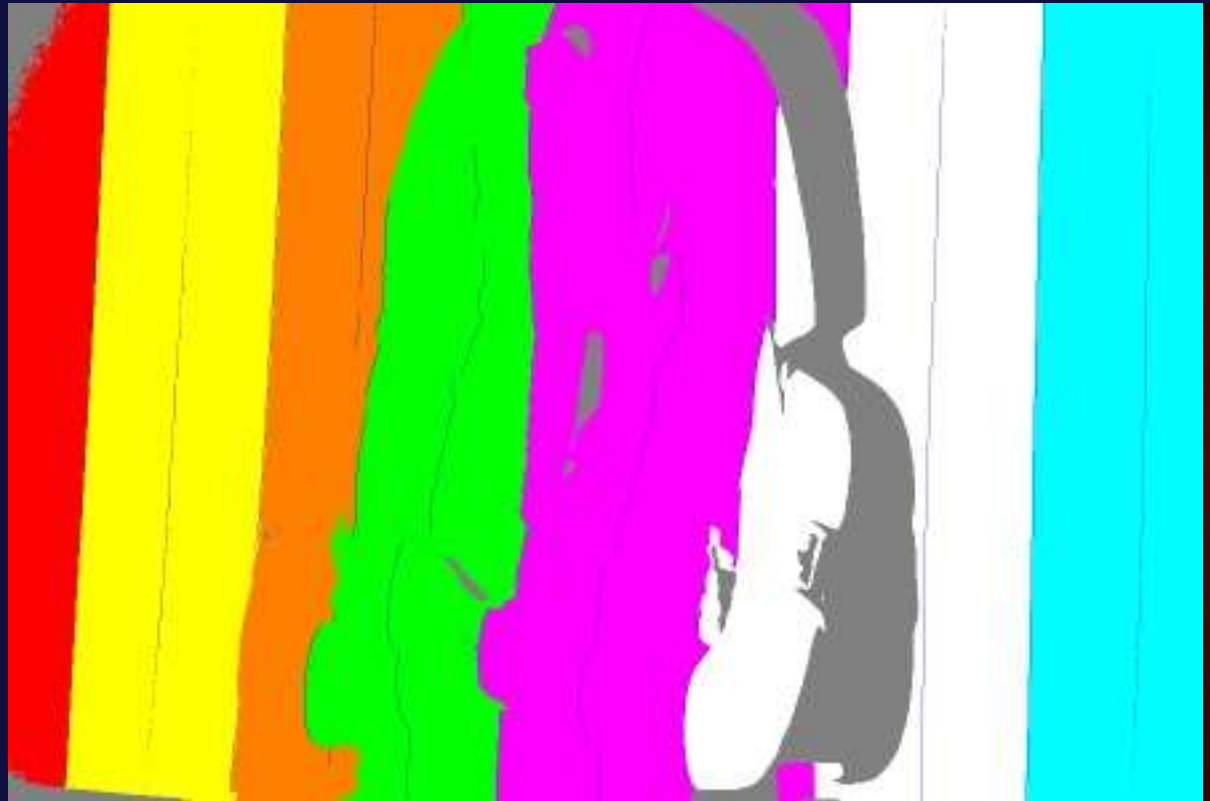
Calcolo delle zone acquisibili



I Punti di colore costante nei pattern sono marcati come in ombra (zone rosse nell'immagine a destra).

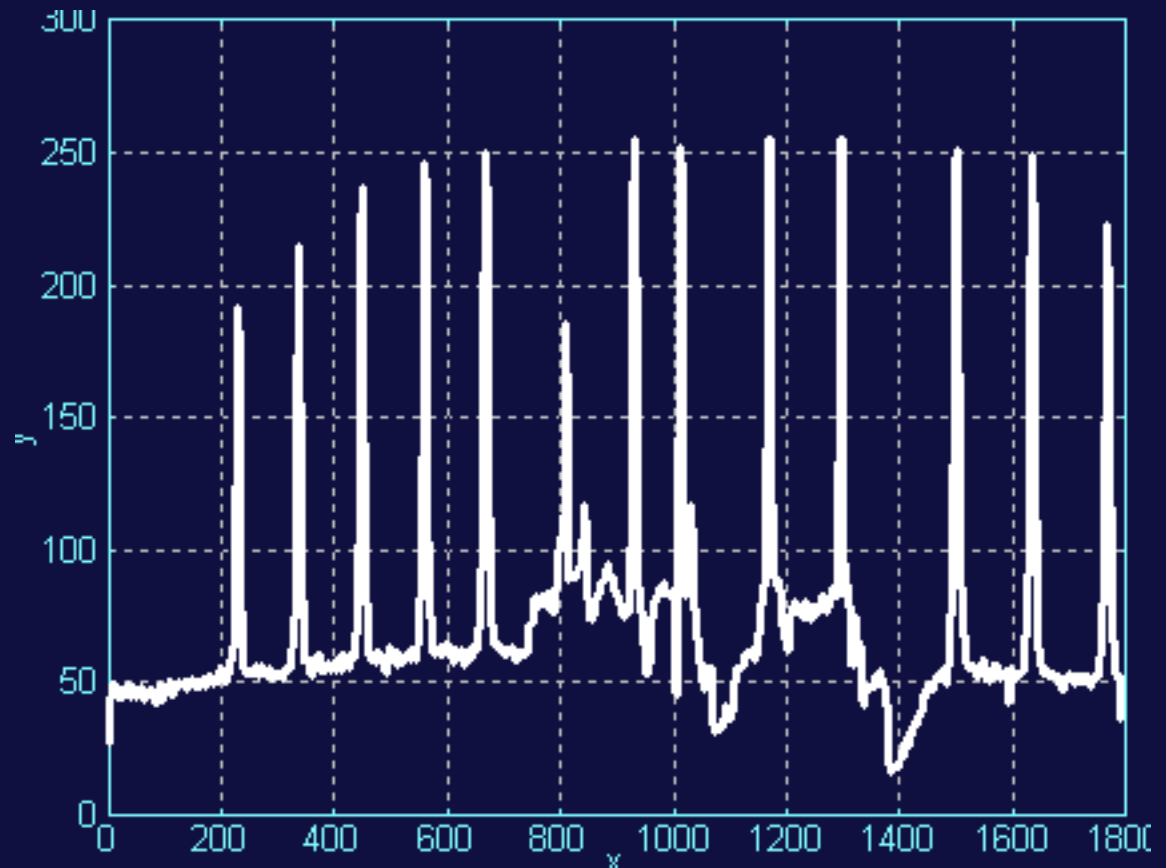
Identificazione delle stripe

La sequenza dei pattern binari (rosso-blu) genera un codice univoco per ogni stripe.



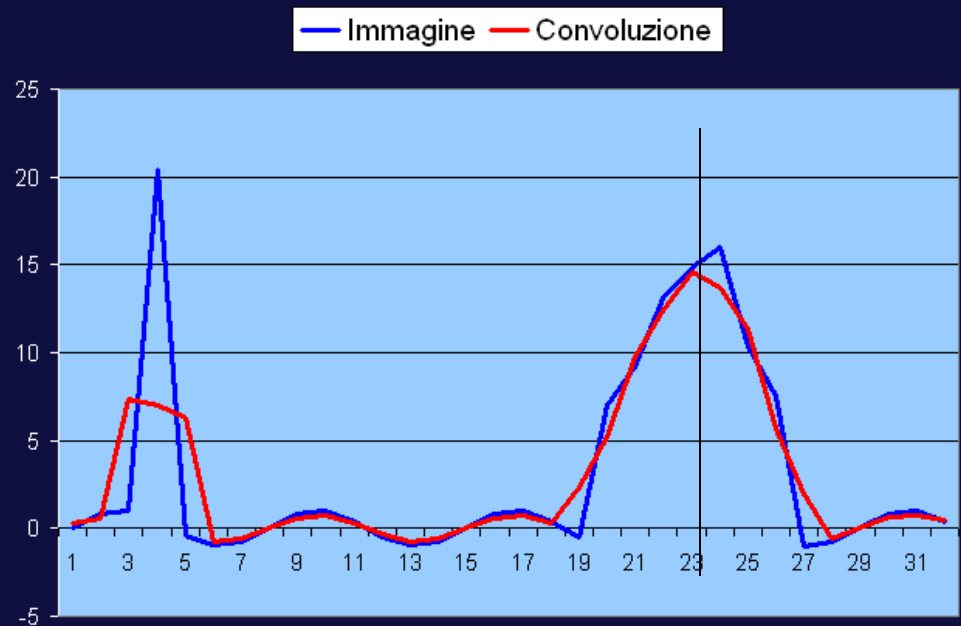
Ricerca delle Stripe I

- Intensità luminosa dell'immagine acquisita (sezione orizzontale).

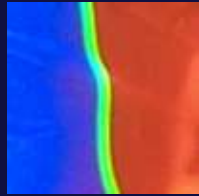


Ricerca della stripe II

- Filtro di convoluzione.
- Ricerca del campione massimo sulla convoluzione.
- Calcolo esatto del punto di massimo tramite momento del 1^{mo} ordine sulla linea originale.



Sovraesposizione



La sovraesposizione genera imprecisione nel calcolo della geometria.

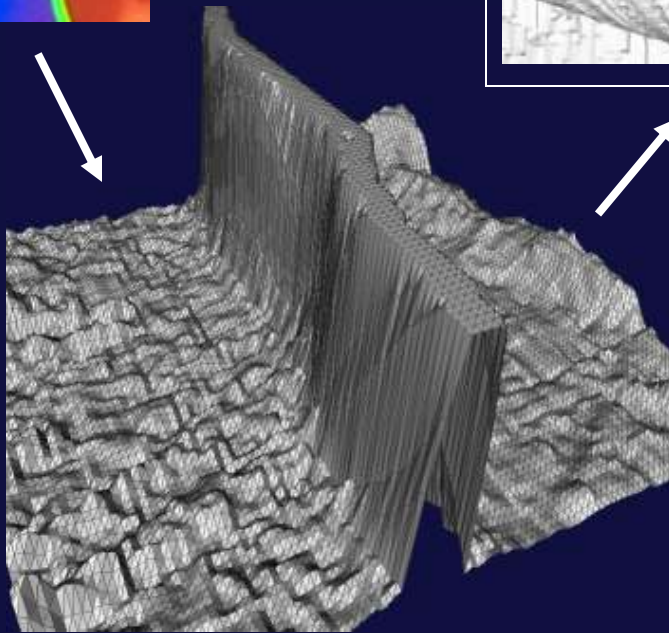


Immagine sovraesposta

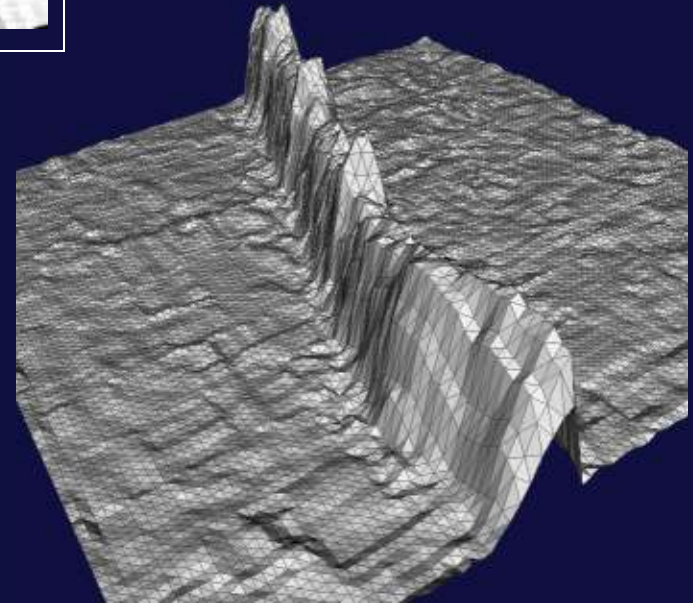
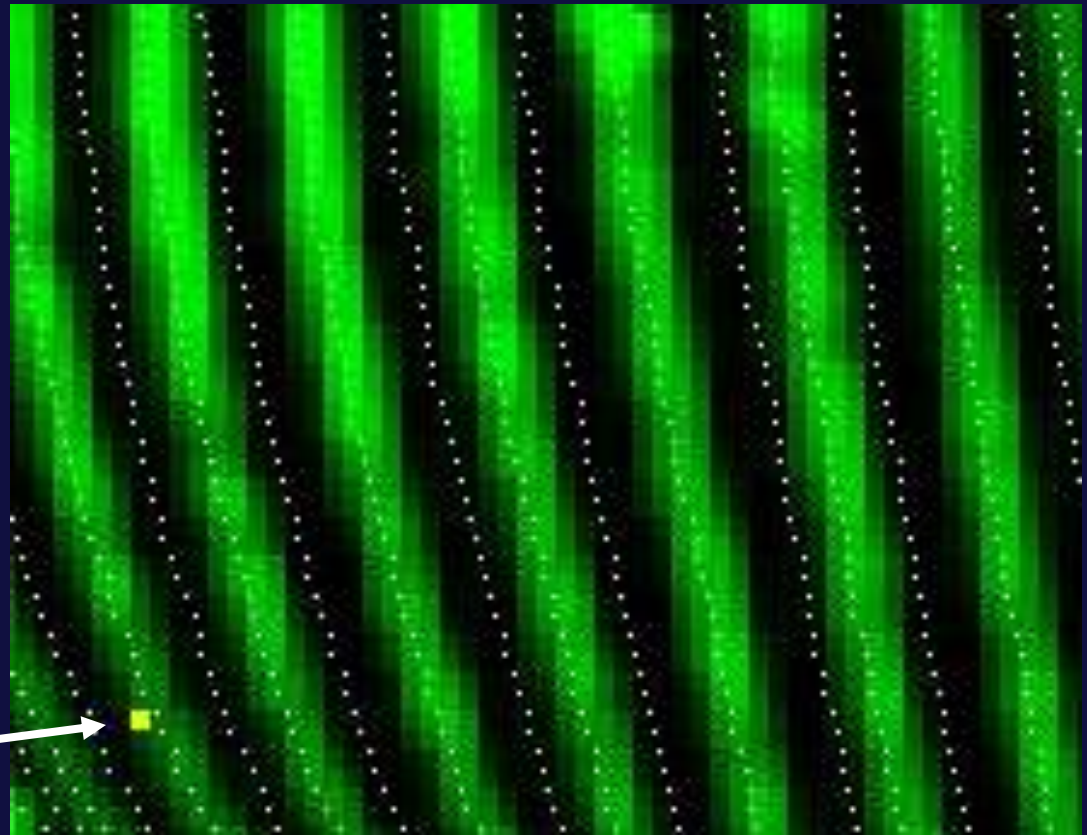


Immagine sottoesposta

Punti Rilevati

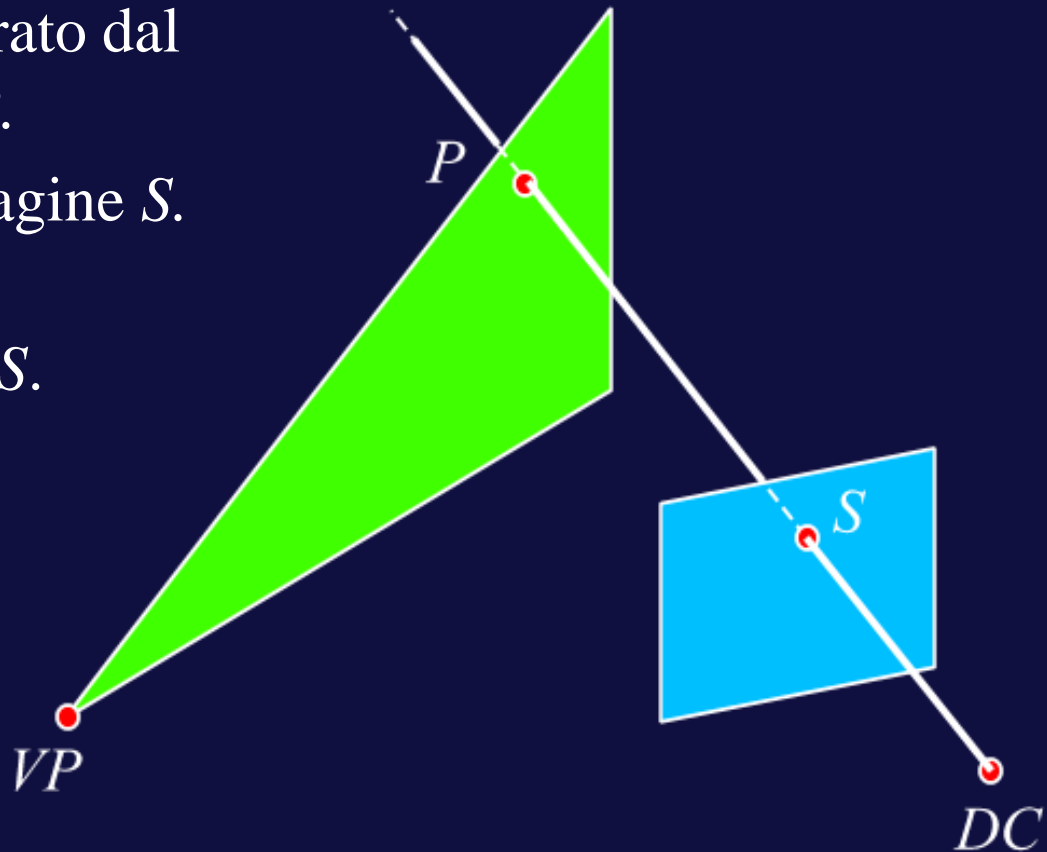
- Esempio di rilevamento punti con precisione sub-pixel.



Pixel immagine originale

Calcolo del Punto

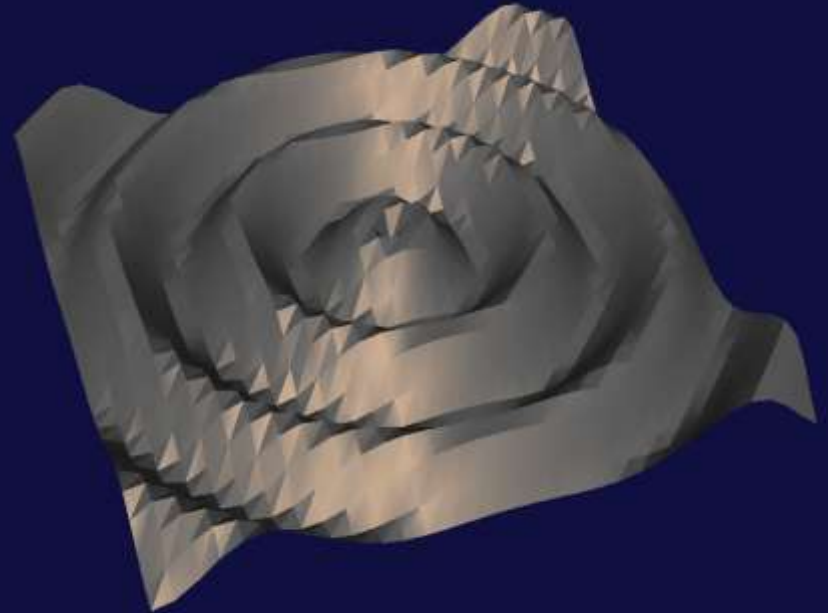
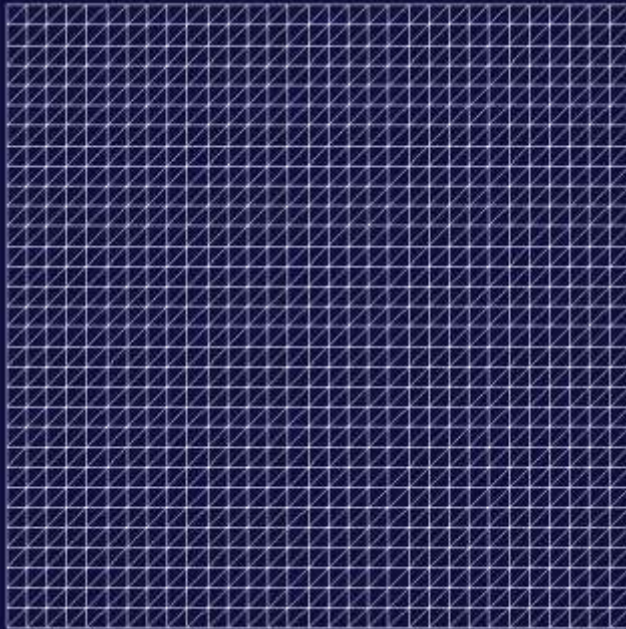
- Dato il piano generato dal videoproiettore VP .
- Dato il punto immagine S .
- Si calcola il raggio passante per DC e S .
- Si interseca il raggio con il piano dato.
- Si determina la posizione di P .



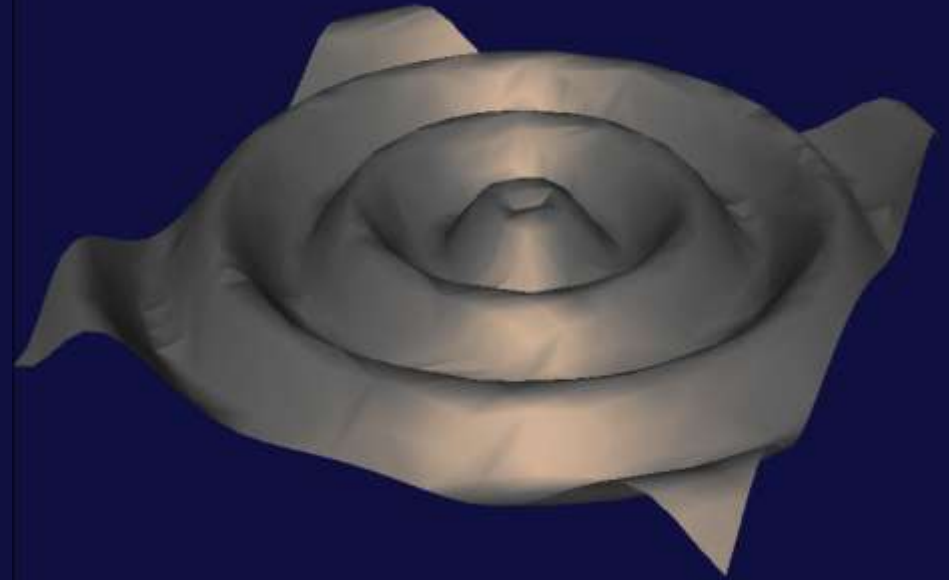
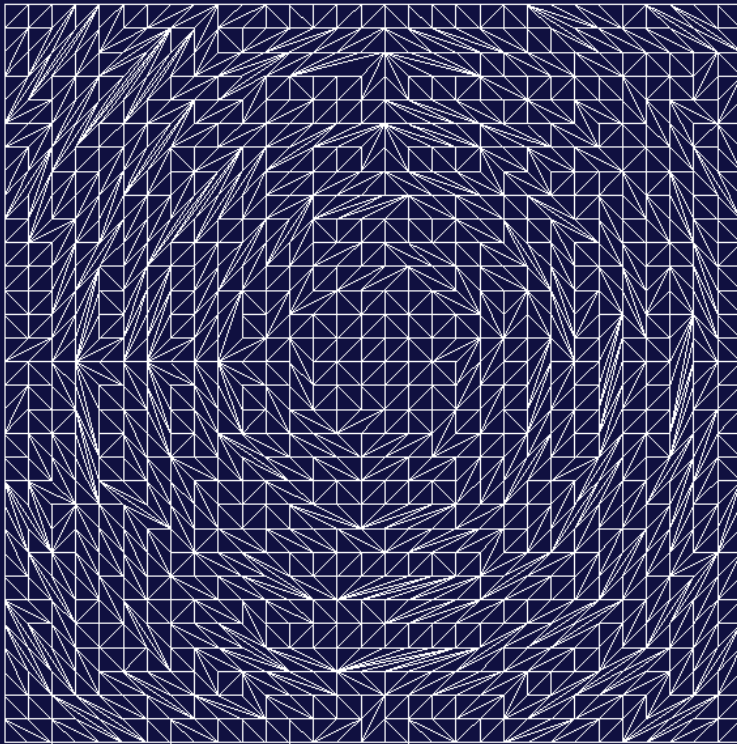
Generazione superficie

- Il risultato della scansione è composto da una nuvola di punti.
- Per generare una superficie si interpola linearmente la posizione di terne di punti (triangolazione).
- La triangolazione può essere semplice (regolare) oppure generata in modo da ottimizzare la curvatura gaussiana locale.

Triangolazione Regolare

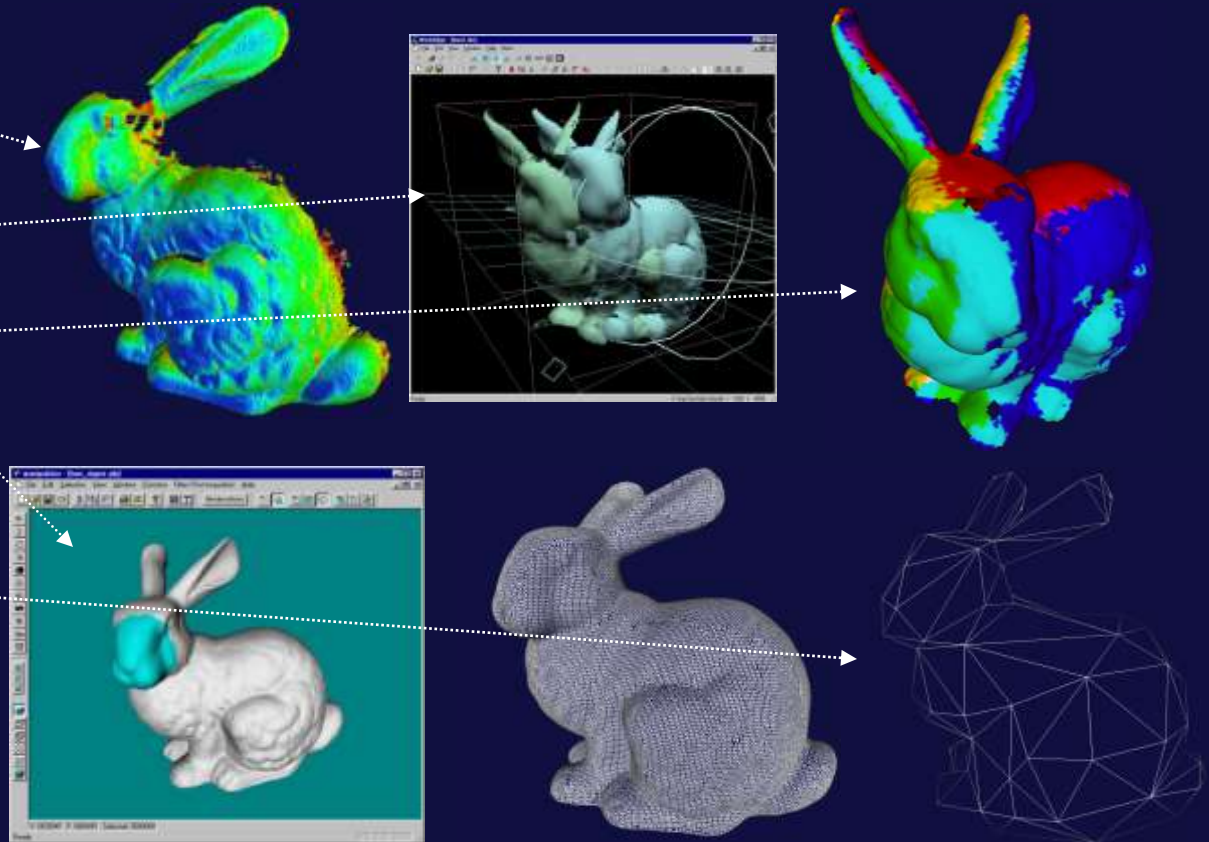


Triangolazione Ottimizzata



Il processo di acquisizione

- Acquisizione
- Allineamento
- Fusione
- Post processing
- Semplificazione



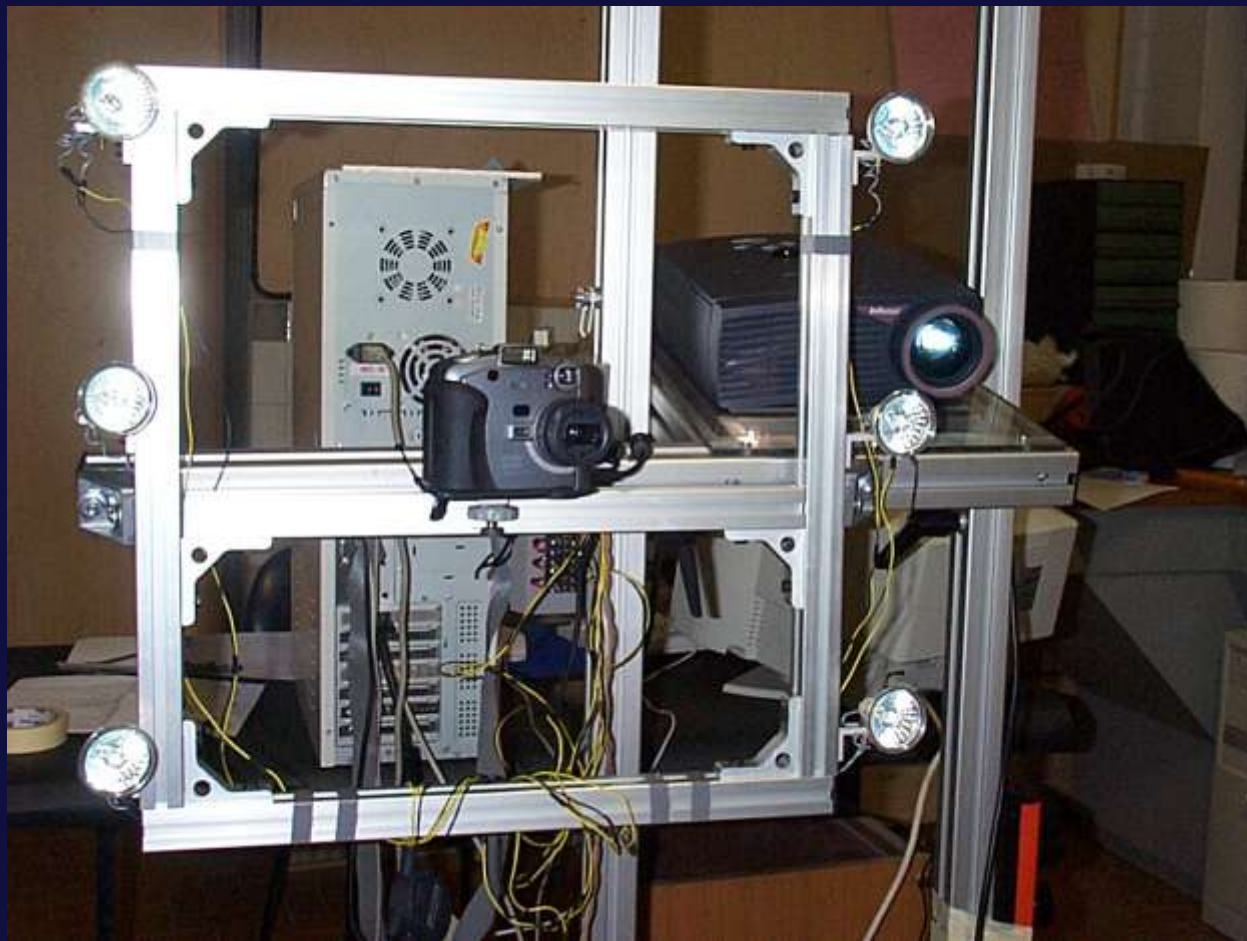
Acquisizione colore

- Il prototipo dello scanner e' dotato di un illuminatore per la rilevazione del colore.
- Illuminando la superficie da direzioni diverse e' possibile ricavare la componente diffusa del colore, eliminando ombreggiatura e riflessi.

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{bmatrix} N_s = K \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix}, \|N_s\| = 1$$

L_1, L_2, L_3 : direzioni delle luci
 N_s : normale alla superficie
 K : fattore di riflettanza
 D_1, D_2, D_3 : intensita' misurata.
(Sistema di 3 var. e 3 inc.)

Il Prototipo



Acquisizione Minerva

Acquisizione
Minerva di Arezzo

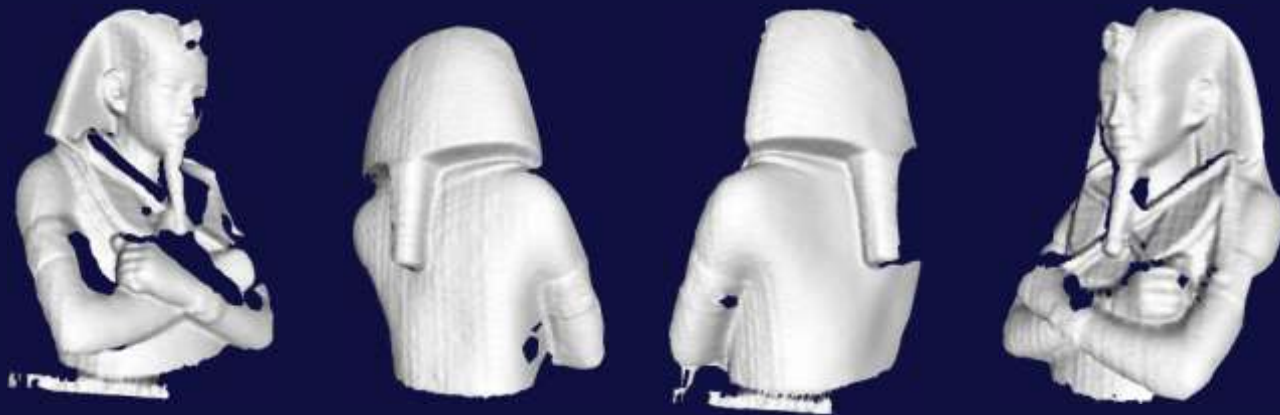
Firenze, Ottobre
2000



Alcuni risultati

Test case: Busto di Faraone in Gesso

70 cm, 4 scan.



Risultati

Minerva di Arezzo

Istituto di Restauro del
Museo Archeologico di
Firenze.

146 Pose, 5 giorni di
riprese.



Risultati

Minerva di Arezzo
(bronzo, 170 cm)

Totale: 29 MFacce.



Risultati

Busto Fiorentino di Donna

Calco in Gesso (~70 cm)

Scansione preliminare:

8 Pose, 1 ora di ripresa

0,5 MTriangoli



Dati tecnici del prototipo

- Distanza di ripresa: da 130cm a ...
- Campo di ripresa: 750 x 500 cm (a 130cm)
- Risoluzione: 1024x768 punti (=0,075 cm)
- Precisione (sulla z): +/- 0,025 cm
- Tempo di ripresa: 3 minuti

Contatti



Claudio Rocchini
Visual Computing Group
ISTI-CNR
Area della Ricerca di Pisa

email: rocchini@iei.pi.cnr.it

web: <http://vcg.iei.pi.cnr.it/~rocchini>

tel. : 050-315-2926