

# Marchiatura digitale di sequenze video stereoscopiche a disparità coerente

Benedetta Barbetti  
Michaela Servi

Università degli studi di Firenze

10 Dicembre 2015

# CONTESTO

Numerose applicazioni di elaborazione di immagini e video richiedono esplicite informazioni sulla **profondità** della scena:

## Campi applicativi

- Medicina
- Robotica
- Tracking
- Industria manifatturiera
- Cinema



# VIDEO STEREOSCOPICI

Il **video stereoscopico** è ottenuto da due riprese con una **coppia di telecamere** adiacenti successivamente sovrapposte

# DISPOSITIVI DI RIPRESA E VISUALIZZAZIONE

## Sistema di ripresa stereo

- Due telecamere sincronizzate
- Correttamente allineate
- Stessa calibrazione



Occhiali anaglifici



Occhiali passivi



Occhiali attivi

## Sistema di riproduzione

- Attivo: lenti sincronizzate con il televisore
- Passivo: lenti diversamente polarizzate
- Anaglifico: lenti passive con filtri di colore diverso

# NECESSITÀ DI UNA MARCHIATURA

## Precedenti motivazioni

- Sicurezza
- Copyright

## Nuove motivazioni

- Poco nello stato dell'arte
- Migliorare la qualità visiva dei contenuti marchiati utilizzando la particolarità dei contenuti 3D

**Video Stereoscopici**

# SCOPO DI QUESTA TESI

## Principi della stereoscopia

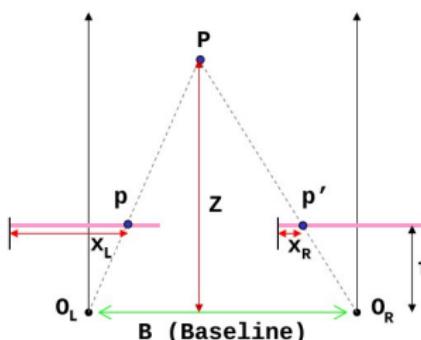
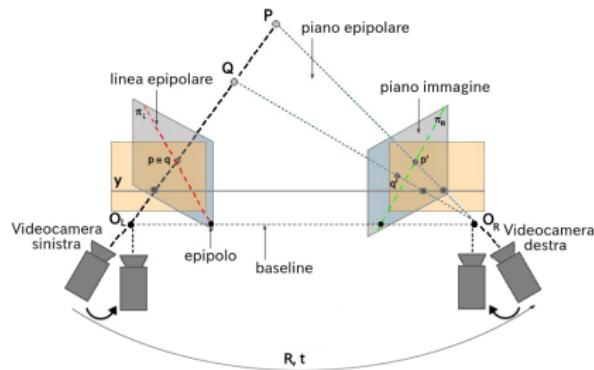
## STEREOSCOPIA

Tecnica di realizzazione e visione di immagini e filmati, atta a trasmettere una illusione di **tridimensionalità**, analoga a quella generata dalla visione binoculare del sistema visivo umano



## Principi della stereoscopia

## BACKGROUND



1. Calibrazione parametri interni ed esterni
2. Rettificazione
3. Calcolo delle corrispondenze
4. Computazione mappa di disparità

- Triangolazione:

$$\frac{B}{Z} = \frac{(B+x_L)-x_R}{Z-f},$$

$$Z = \frac{B \cdot f}{x_L - x_R} = \frac{B \cdot f}{d}$$

- $d = x_L - x_R$  è la disparità

## Principi della stereoscopia

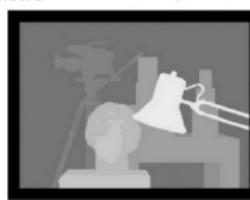
## CORRISPONDENZE E MAPPA DI DISPARITÀ

- Metodi locali: calcolano un valore di similarità (MSE, NCC..) all'interno di una finestra
- Metodi globali: minimizzano su tutta l'immagine una funzione di energia che racchiude le assunzioni di corrispondenza



Vista sinistra

Disparità con graph cuts



Disparità di ground truth

In questa tesi stato utilizzato l'algoritmo di Kolmogorov and Zabih  
**Graph Cuts Stereo Matching Algorithm** per il calcolo della mappa di  
disparità

## Principi del watermarking

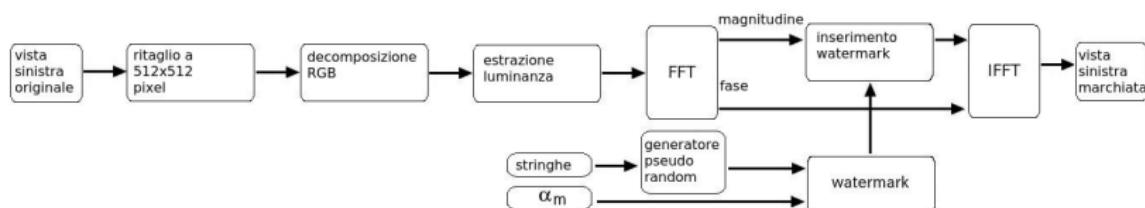
# WATERMARKING

# ALGORITMO DI MARCHIATURA NEL DOMINIO DELLA FREQUENZA

## Vantaggi:

- Visibilità e sicurezza;
- Invariante a traslazioni, rotazioni e resizing;
- Resistente a degradazioni;
- Rilevazione di tipo Blind

# MARCHIATURA VISTA SINISTRA

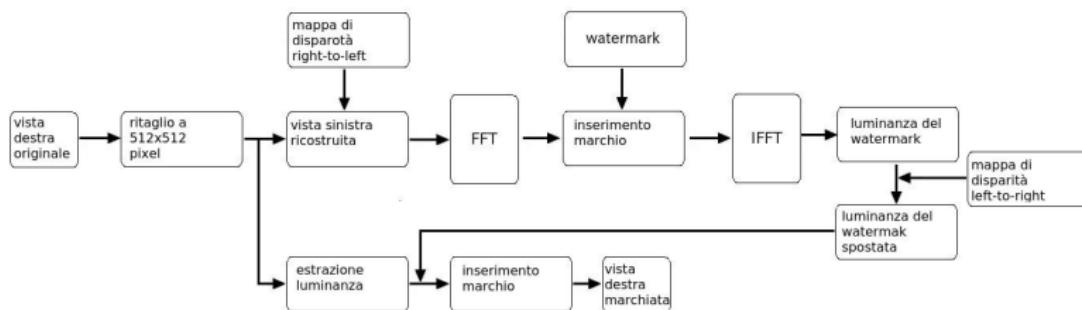


## Inserimento marchio:

- estrazione luminanza  $Y$ ;
- estrazione coefficienti a media frequenza;
- alterazione coefficienti secondo :  $y_i = y_i + \alpha w_i y_i$ .

## Processo di marchiatura stereo

## MARCHIATURA VISTA DESTRA

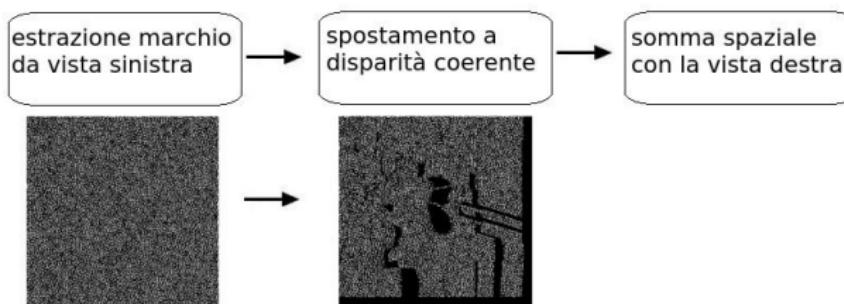


## Obiettivi:

- Pixel corrispondenti marchiati nello stesso modo;
- Marchio inserito spazialmente ma rilevabile in frequenza.

# MARCHIATURA VISTA DESTRA

Idea:



Se consideriamo l'immagine / scritta in funzione della sua trasformata  $L$  :

$$I = \frac{1}{MN} \sum \sum (|L(u, v)|) \exp\{\phi(u, v)\} \exp\{-j2\pi(\frac{ux}{M} \frac{vy}{N})\}$$

Dopo il processo di marchiatura avremo:

$$I_w = \frac{1}{MN} \sum \sum (|L(u, v)| + \alpha |L(u, v)| |w|) \exp\{j(\phi_L + \phi_w)\} \exp\{-j2\pi(\frac{ux}{M} \frac{vy}{N})\}$$

# MARCHIATURA VISTA DESTRA

## Problemi:

- La procedura di detection si aspetta in ingresso un'immagine del tipo:

$$r_w = r + \frac{1}{MN} \sum \sum (\alpha |R(u, v)| |w| \exp\{j(\phi_R + \phi_w)\}) \exp\{-j2\pi(\frac{ux}{M} \frac{vy}{N})\}$$

- L'alterazione estraibile dalla vista sinistra è del tipo:

$$\alpha |L| |w| \exp\{j(\phi_L + \phi_w)\}$$

## Soluzione:

- modulo marchio: modulo della vista sinistra ricostruita a partire dai pixel della vista destra;
- fase marchio: fase della vista sinistra sommata a quella del marchio di riferimento;

## MARCHIATURA VISTA DESTRA

Il marchio inserito nella vista destra è quindi:

$$\alpha|R^{**}||w|\exp\{j(\phi_L + \phi_w)\}$$

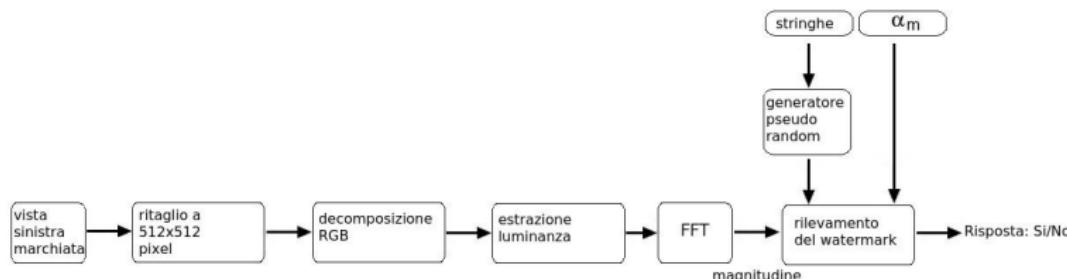
Le formule complete sono:

$$I_w = I + \frac{1}{MN} \sum \sum (\alpha|L(u, v)||w| \exp\{j(\phi_L + \phi_w)\}) \exp\{-j2\pi(\frac{ux}{M} \frac{vy}{N})\}$$

$$r_w = r + \frac{1}{MN} \sum \sum (\alpha|R(u, v)|^2 ||w| \exp\{j(\phi_L + \phi_w)\})^* \exp\{-j2\pi(\frac{ux}{M} \frac{vy}{N})\}$$

## Processo di marchiatura stereo

## DETECTION VISTA SINISTRA

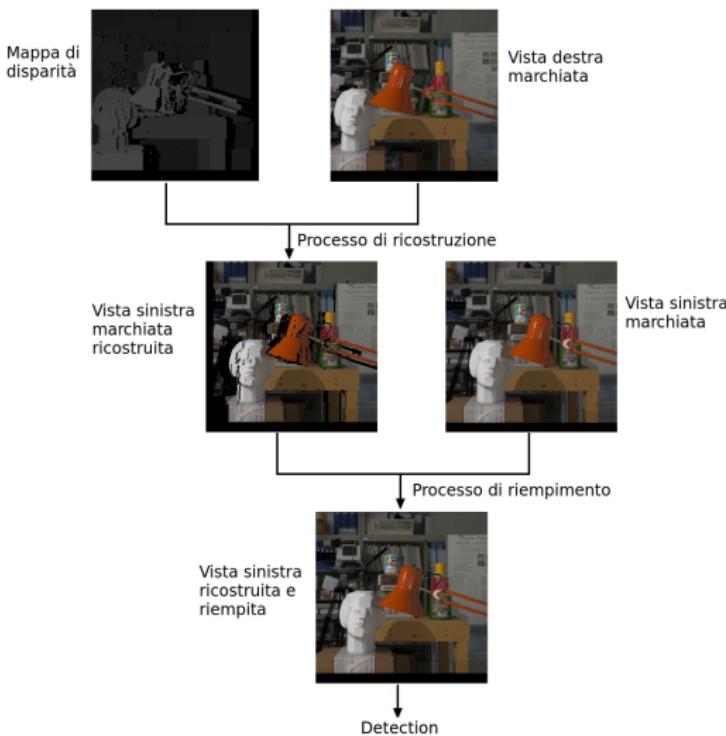


## Detection basata su soglia:

- generazione marchio;
- calcolo likelihood  $L(y)$  e soglia  $\lambda$  con il criterio di Neyman-Pearson;
- comparazione  $L(y)$  con  $\lambda$  e decisione.

## Processo di marchiatura stereo

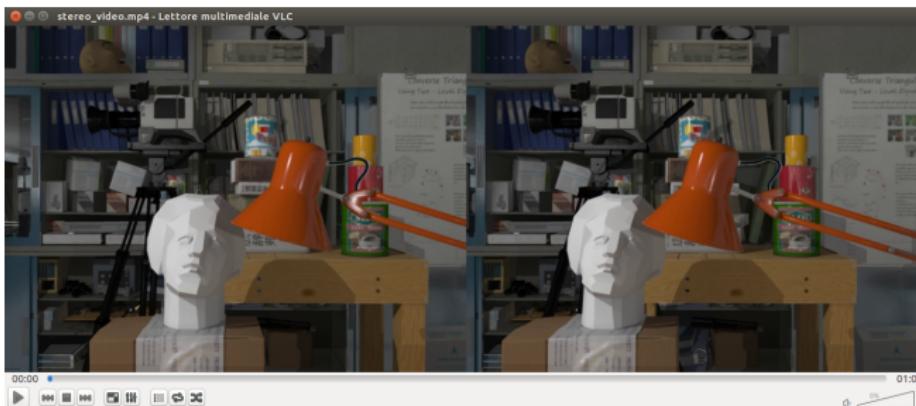
## DETECTION VISTA DESTRA



# RISULTATI SPERIMENTALI

Test effettuati su:

- sequenza video di 1 minuto creata dal dataset Tsukuba
- frame rate 30
- group of picture 60



## Risultati sperimentali

# TEST DI ROBUSTEZZA

### Compressione:

Si studia la degradazione del marchio dovuta alla compressione del video, in relazione alla potenza di inserimento.

### Distribuzione web:

Si studia la resistenza del marchio in video che sono stati caricati su Youtube e successivamente scaricati.

### Sintetizzazione di viste intermedie:

Si studia la risposta del marchio in caso di creazione di viste sintetiche a tre diverse distanze dalla vista sinistra.

## Risultati sperimentali

## COMPRESsIONE

| potenza marchio | livello di compressione | Detection stereo |
|-----------------|-------------------------|------------------|
| <b>1</b>        | <b>1</b>                | <b>80%</b>       |
| 1               | 15                      | 40%              |
| 1               | 25                      | < 20%            |
| 1               | 30                      | < 20%            |
| 3               | 1                       | > 90%            |
| 3               | 15                      | > 90%            |
| 3               | 25                      | > 90%            |
| 3               | 30                      | > 90%            |

Statistica della detection spaziale

| potenza marchio | livello di compressione | Detection stereo |
|-----------------|-------------------------|------------------|
| 0.3             | 1                       | 100%             |
| <b>0.3</b>      | <b>15</b>               | <b>&gt; 96%</b>  |
| 0.3             | 25                      | 36.6%            |
| 0.3             | 30                      | 6.6%             |
| 0.6             | 1                       | 100%             |
| 0.6             | 15                      | 100%             |
| <b>0.6</b>      | <b>25</b>               | <b>86.6%</b>     |
| 0.6             | 30                      | 50%              |

Statistica della detection in frequenza

**Risultati sperimentali**

# DISTRIBUZIONE WEB

| potenza del marchio | Detection stereo |
|---------------------|------------------|
| 0.3                 | 1                |
| 0.5                 | 6                |
| 0.6                 | 11               |

Statistica della detection in frequenza per video caricati su Youtube

## Analisi PSNR:

| livello di compressione | PSNR    |
|-------------------------|---------|
| 15                      | 46.0194 |
| 25                      | 40.4861 |
| YT                      | 38.2039 |
| 30                      | 37.5587 |

Valore medio di PSNR per diversi livelli di compressione

**Risultati sperimentali**

# SINTETIZZAZIONE DI VISTE INTERMEDI



1/4



1/2



3/4

Detection  
spaziale

&gt;90%

&gt;80%

&gt;80%

Detection in  
frequenza

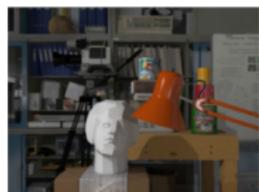
100%

100%

&gt;90%

## Risultati sperimentali

## TEST DI INVISIBILITÀ: MISURE DI QUALITÀ



$$Q_{View}(x, y) = [I(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [\mathbf{S}_{View}(x', y')]^\gamma$$

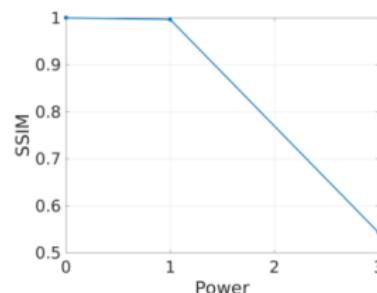
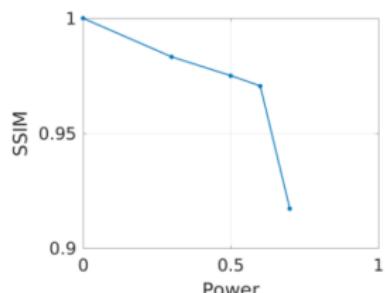
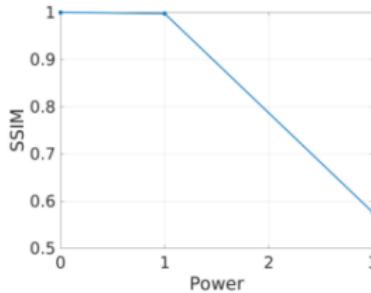
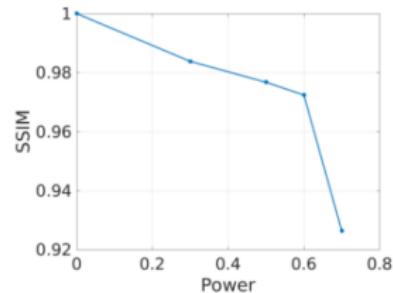
$$Q_{Depth}(x, y) = [I(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [\mathbf{S}_{Depth}(x', y')]^\gamma$$

## Metriche di Chamida et al.

- Basate sugli **edge** della mappa di disparità e della vista da esaminare
- Versione modificata di **SSIM**
- Metrica di tipo **Reduced-Reference**

**Risultati sperimentali**

# TEST DI INVISIBILITÀ: MISURE DI QUALITÀ

vista  
sinistravista  
destra

metodo in frequenza

metodo spaziale

# TEST DI INVISIBILITÀ: PSNR

- Si è misurato l'impatto visivo tramite PSNR tra i frame originali e marchiati;
- valori tipici per video marchiati sono tra 30 e 50 dB.

| potenza del marchio | PSNR(dB) |
|---------------------|----------|
| 0.3                 | 46.0071  |
| 0.5                 | 45.9505  |
| 0.6                 | 45.9291  |

Valore medio di PSNR al variare della potenza del marchio

# CONCLUSIONI

Nel dominio spaziale:

- fissiamo un degrado della qualità dell'immagine del 1%
- otteniamo la potenza del marchio pari a 1

| CRF | potenza del marchio | True positive |
|-----|---------------------|---------------|
| 1   | 1                   | 70%           |
| 15  | 1                   | 40%           |
| 25  | 1                   | < 20%         |
| 30  | 1                   | < 20%         |



# CONCLUSIONI

Nel dominio della frequenza:

- fissiamo un degrado della qualità dell'immagine del 1%
- otteniamo la potenza del marchio pari a 0.3

| CRF | potenza del marchio | detection stereo |
|-----|---------------------|------------------|
| 1   | 0.3                 | 100%             |
| 15  | 0.3                 | > 90%            |
| 25  | 0.3                 | 36.6%            |
| 30  | 0.3                 | 6.6%             |



# CONCLUSIONI

Video stereo marchiato con potenza 0.3 compresso a fattore 15