

# Investigare su Immagini e Video

**Sebastiano Battiato**

Dipartimento di Matematica e Informatica,  
Università di Catania

Image Processing LAB – <http://iplab.dmi.unict.it>  
[battiato@dm.unict.it](mailto:battiato@dm.unict.it)

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Sommario

- Introduzione «tecnica» alle Immagini/Video Digitali
- **Image/Video Forensics**
- Tecniche di Analisi, Enhancement, Restoration, ...
- Digital Forgery (Panoramica)
- Limiti e potenzialità dei software per l'Image Forensics
- Steganografia sulle immagini digitali
- **Alcuni casi di studio ;)**
- **Demo (AMPED vs ImageJ)**

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



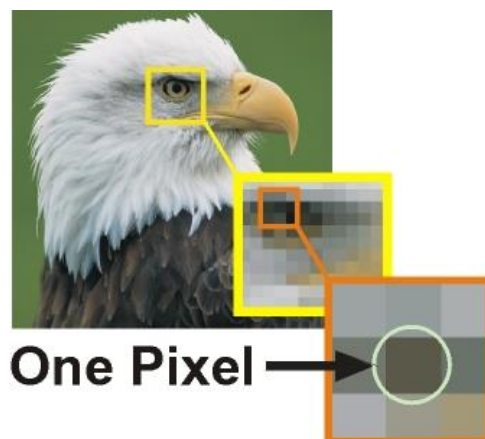
# Image (Video) Forensics

***“Forensic Image (Video) analysis is the application of IMAGE SCIENCE and DOMAIN EXPERTISE to interpret the content of an image or the image itself in legal matters” (SWGIT – [www.fbi.gov](http://www.fbi.gov))***

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Immagini Digitali

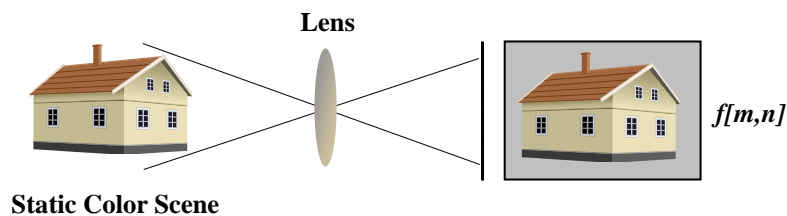


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Le immagini Digitali

Un'immagine è una funzione 2D  $f(x,y)$  che rappresenta una misura opportuna di una o più caratteristiche (luminosità, colore, ecc.) di una data scena.

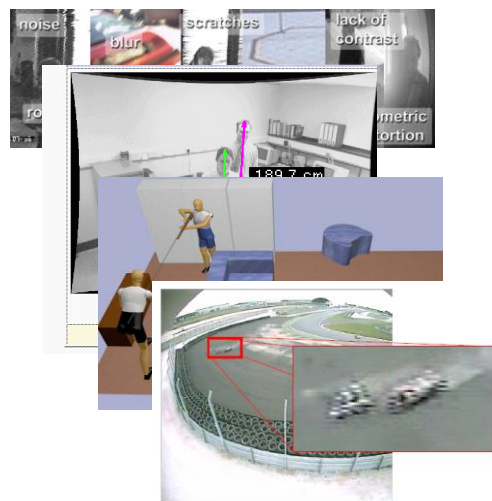


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Applicazioni «forensi»....

- Image Reconstruction
- Self Embedding
- Video Analysis
- 3D Reconstruction
- Steganography
- Image Forgery
- Identification
- Image Source Identification



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Implicazioni

- Valgono gli stessi principi generali della **digital forensics** per la trattazione dei reperti digitali
  - Preservazione dell'originale
  - Acquisizione integra e non ripudiabile
  - Utilizzo di copie di lavoro
  - Documentazione e ripetibilità
- In generale, ogni «processing» tende ad evidenziare particolari presenti, non a cambiare i contenuti dell'immagine

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Implicazioni in ambito “forense”

Il dato digitale è per sua natura molto sensibile a manipolazioni. Risulta semplice (ed economico) da manipolare.

Diverse le problematiche in ambito investigativo/forense da gestire:

- Che differenza c'è fra **miglioramento** o **manipolazione** dell'immagine? Quali elaborazioni sono ammissibili?
- **Digital Forgery** (qual è l'originale? qual è l'elaborato?)



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Miglioramento o Manipolazione?

- Problema:
  - ◆ L'immagine è stata elaborata
  - ◆ **COME?**

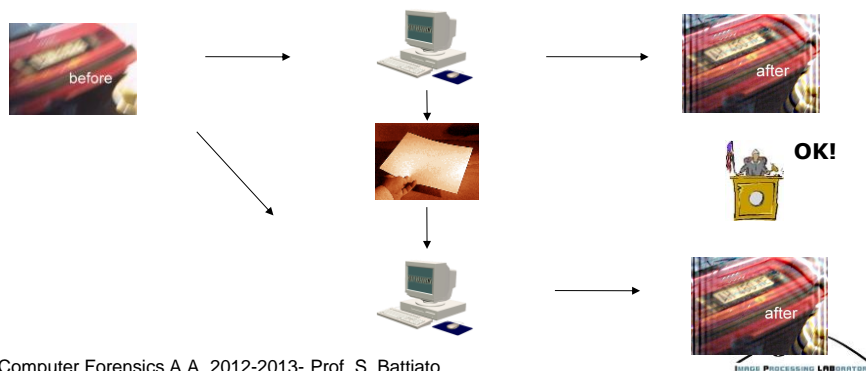


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Procedura

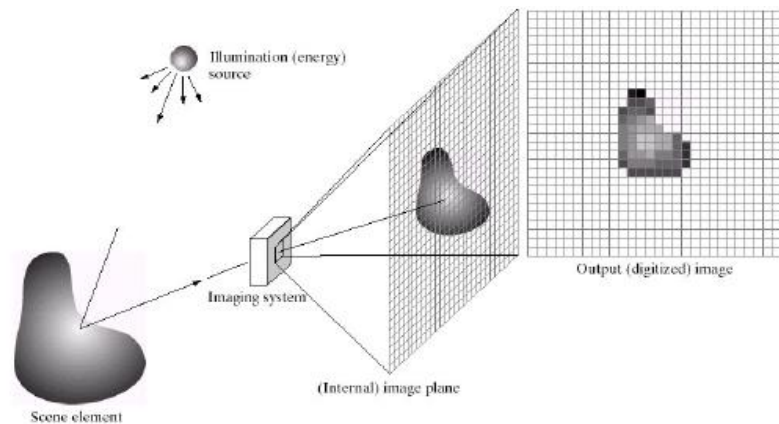
1. **Preservare** l'immagine originale
2. **Documentare** tutti i passi dell'elaborazione
3. Immagine elaborata esattamente **riproducibile** a partire da quella originale tramite il processo documentato



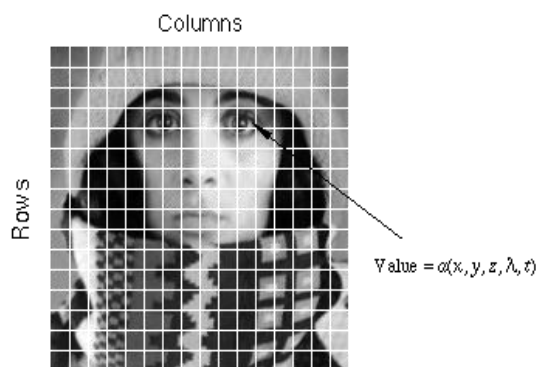
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Acquisizione dell'immagine



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

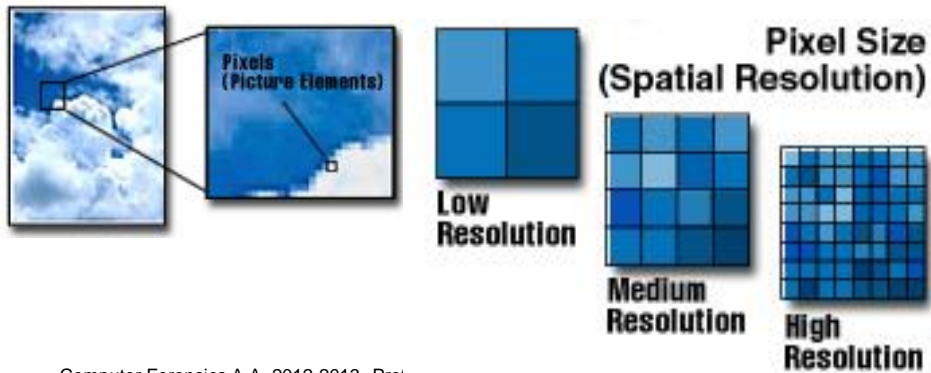


Un'immagine digitale monocromatica è una matrice  $I = f(x,y)$  di valori discreti di intensità luminosa (livelli di grigio), costituita da  $M \cdot N$  pixel (*picture elements*, detti talvolta *pel*), ciascuno dei quali ha un valore appartenente all'intervallo  $[0, L-1]$  essendo  $L$  i livelli possibili di intensità (o di grigio).

# Risoluzione Spaziale

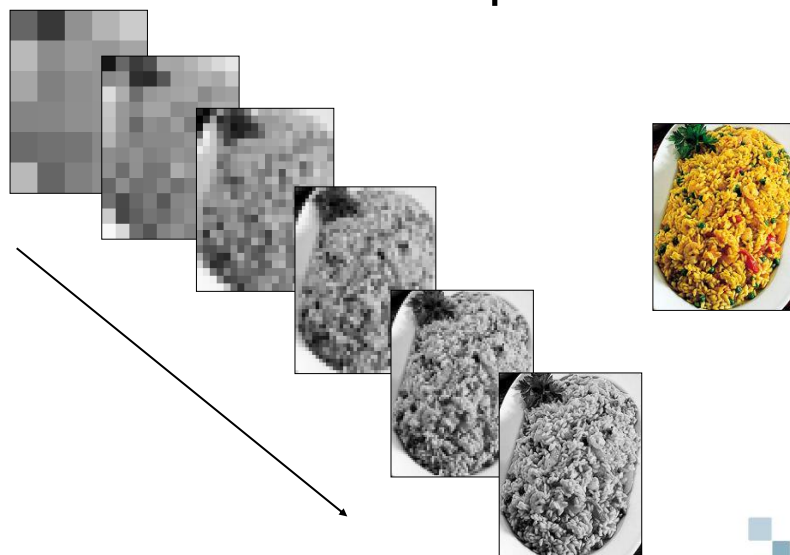
La risoluzione spaziale si riferisce al numero specifico di punti di informazione (pixel – Picture Element) di un' immagine.

## Spatial Resolution



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

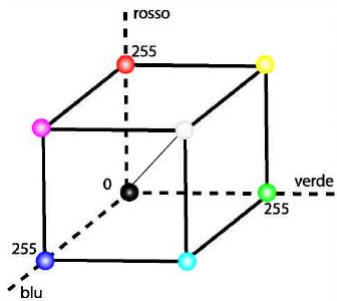
# Risoluzione Spaziale



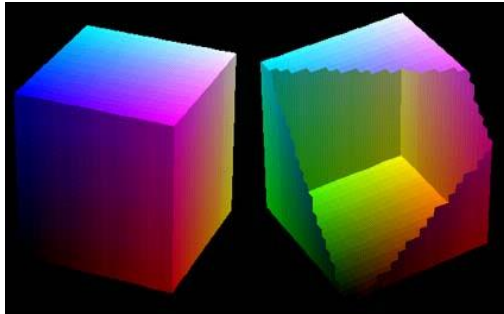
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# I colori: Lo spazio RGB

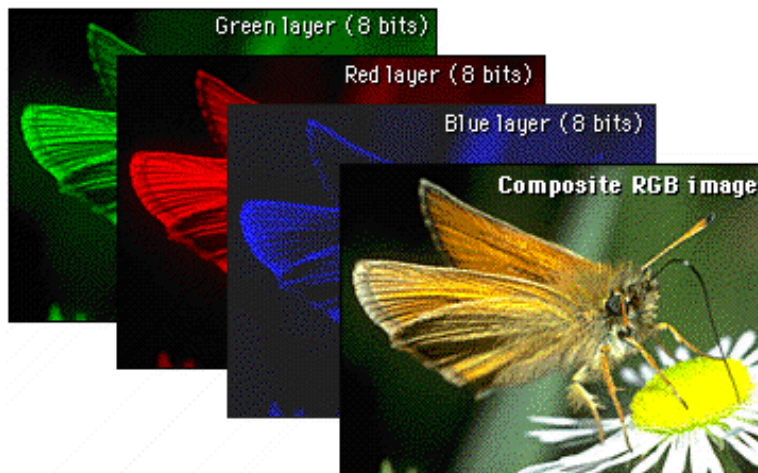
E' molto comune descrivere i colori riferendosi allo spazio colore RGB (**red**, **green**, e **blue**). Lo spazio RGB è basato sul fatto che ogni colore possa essere rappresentato da una "miscela" dei tre colori primari **red**, **green**, e **blue**. I vari contributi sono assunti indipendenti l'uno dall'altro (e quindi rappresentati da direzioni perpendicolari tra loro). La retta che congiunge nero e bianco è la retta dei grigi.



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof.



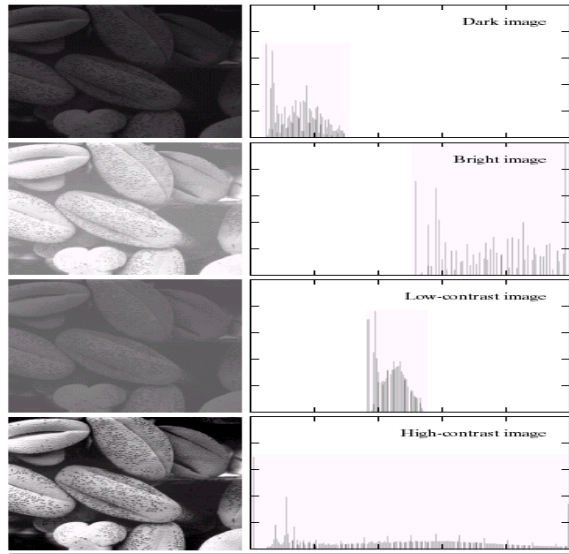
## TrueColor (24 bit)



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



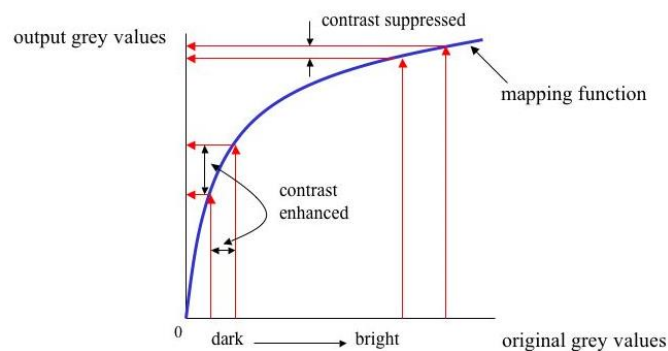
# Istogrammi di Intensità



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

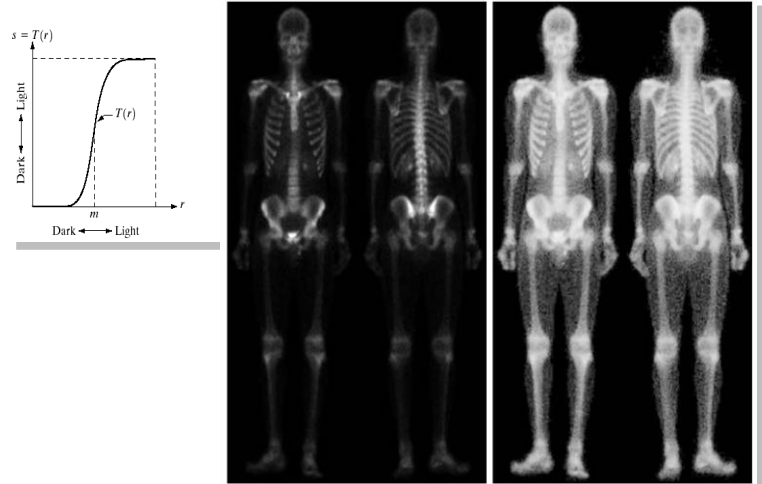
## Agire sul contrasto

- E' possibile migliorare l'aspetto di una immagine attraverso l'utilizzo delle cosiddette look-up tables.



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Contrast Enhancement

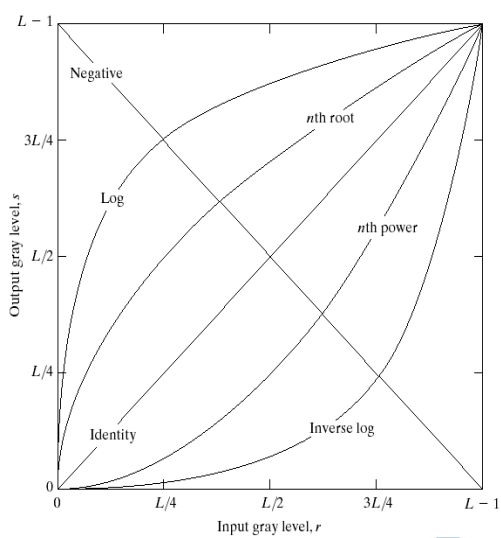


L'immagine di output avrà un contrasto maggiore visto che i valori di grigio più piccoli di  $m$  vengono resi più scuri mentre quelli più grandi vengono resi più chiari.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



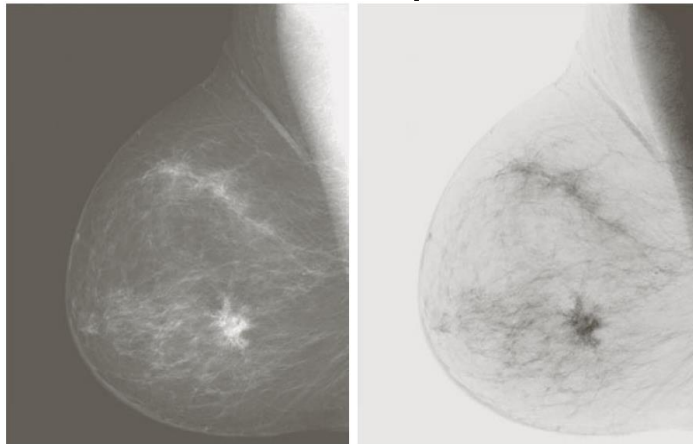
In generale quindi utilizzando un grafico come quello mostrato in figura si riescono ad implementare le cosiddette **look-up tables (LUT)**, in grado di implementare operazioni puntuali anche di tipo non banale.



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Esempio



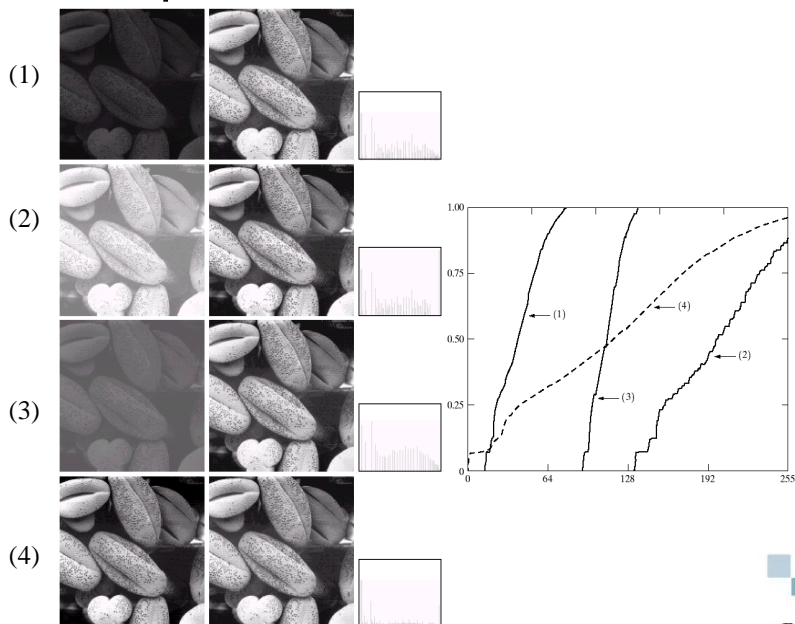
(a) Mammografia digitale dell'immagine ottenuta trasformazione "negativa"

(b) Negativo usando la



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Equalizzazione



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



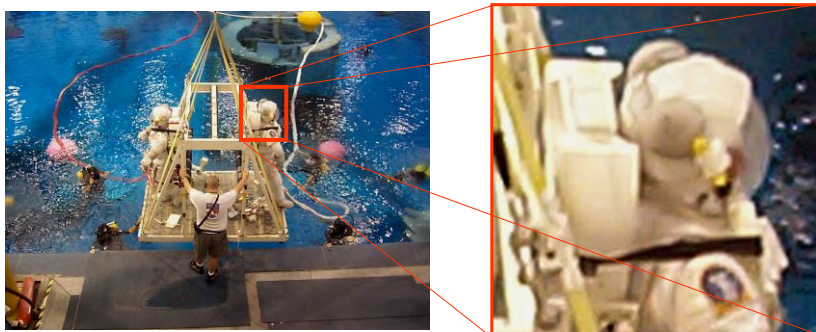
## Filtraggi convolutivi

- Si utilizzano delle maschere (kernel-mask) convolutive i cui valori (detti anche pesi) definiscono il comportamento del filtro.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



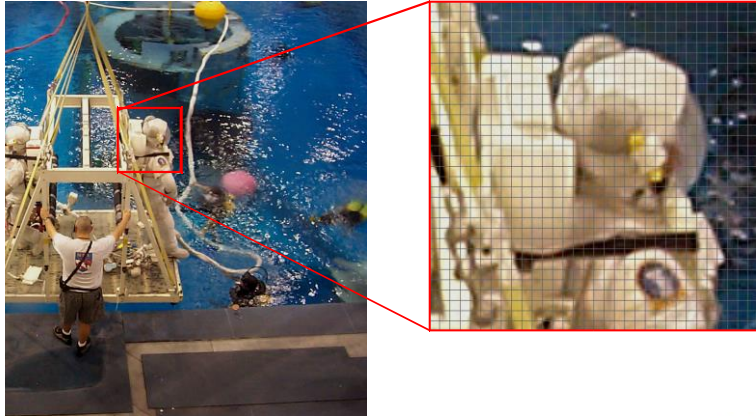
## Esempio



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

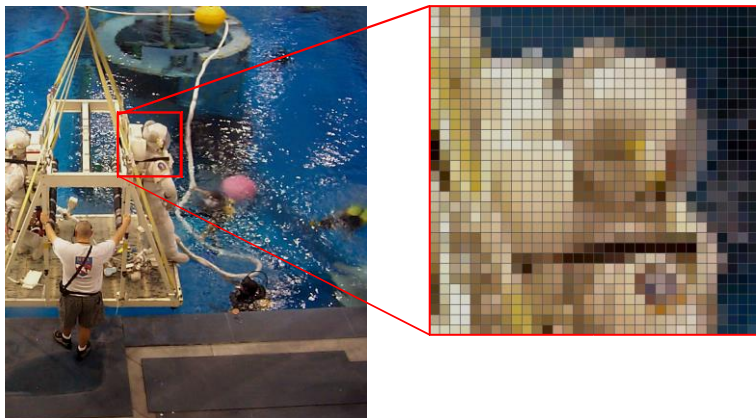


# Sampling



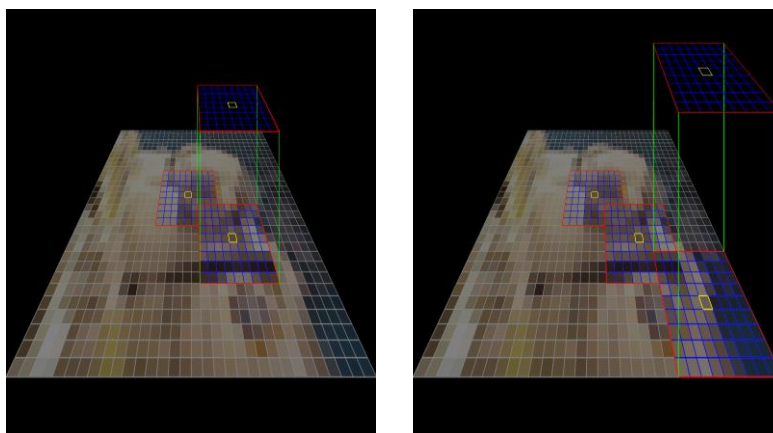
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Semplice media locale (pixelization)



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

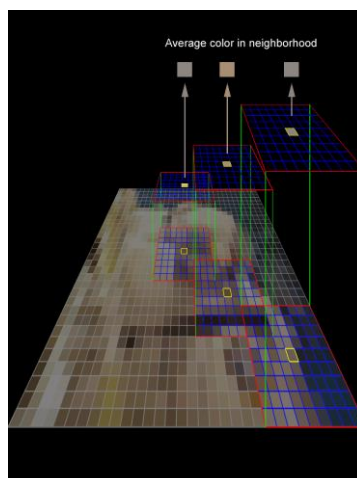
## Intorno locale



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

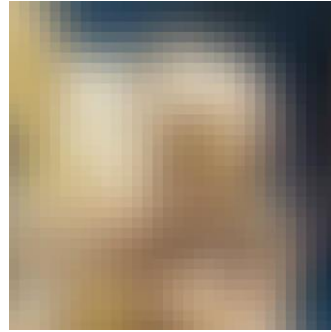
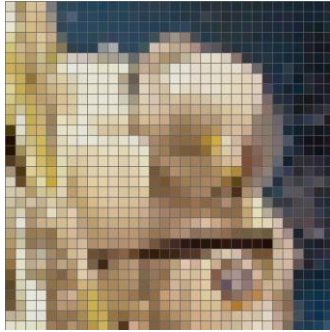
## Intorno locale

Per ciascun pixel è possibile applicare una funzione che restituisca un valore in funzione del suo intorno (neighborhood)



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Media 3X3



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Filtraggio Spaziale

In questo caso:

$$R = \sum_{i=1}^{mn} \mu_i z_i$$

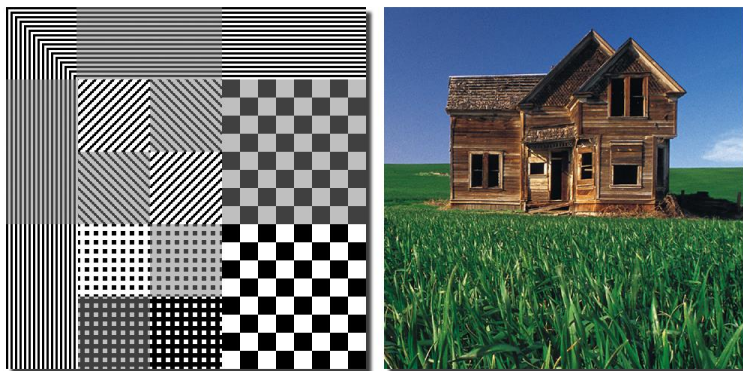
dove i  $\mu_i$  sono i coefficienti del filtro e gli  $z_i$  sono i valori dei pixel dell'immagine da filtrare. Il meccanismo qui illustrato è simile al concetto di *convoluzione* proprio del dominio delle frequenze: da questo deriva il nome assegnato a questi filtri di *maschere di convoluzione*.

$w_1$	$w_2$	$w_3$
$w_4$	$w_5$	$w_6$
$w_7$	$w_8$	$w_9$

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

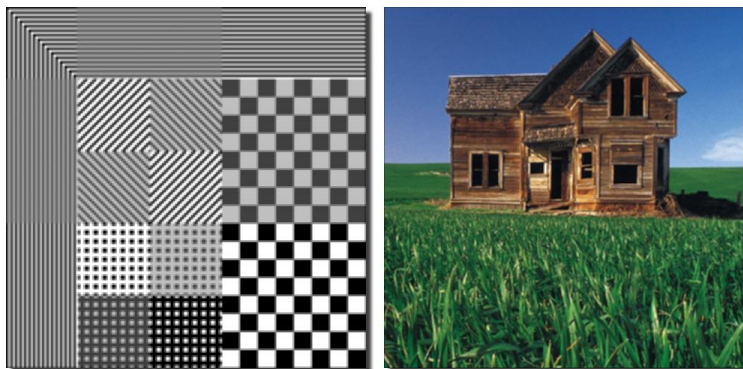


# Esempi



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

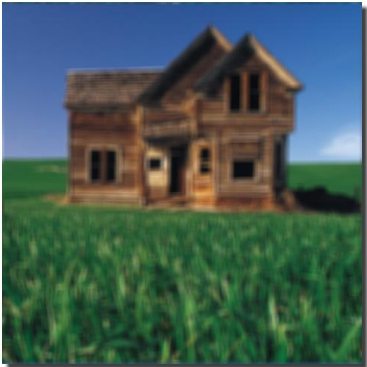
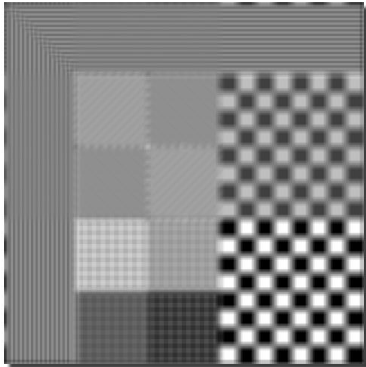
$$\begin{matrix} 1 \\ 9 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

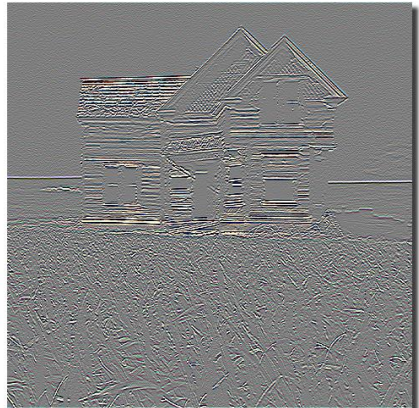
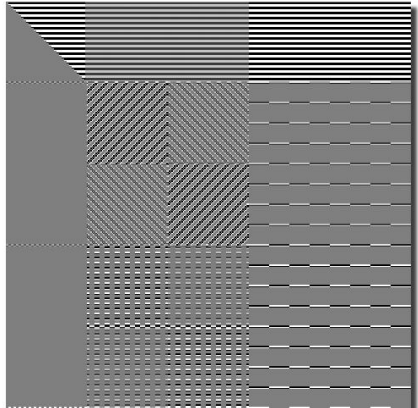


$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



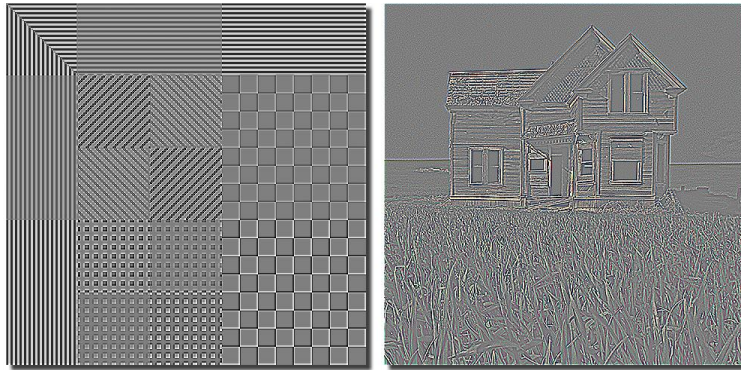
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

$$\begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ -1 \end{bmatrix}$$



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

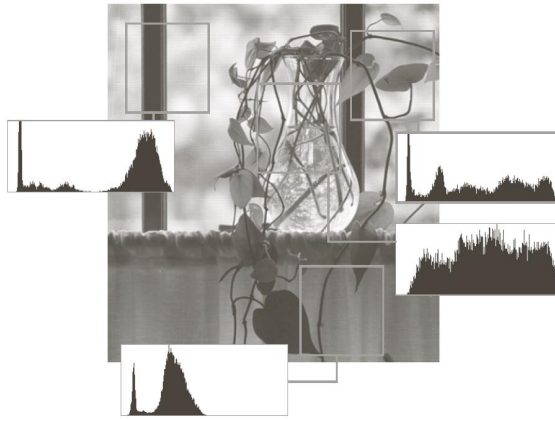
## Operatori e maschere

- N-box
- N-binomiale
- Sobel x,y
- Laplaciano
- Edge Enhancing
- Shifting
  
- Noise Reduction (*order-statistics filters*)
- Unsharp Masking

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

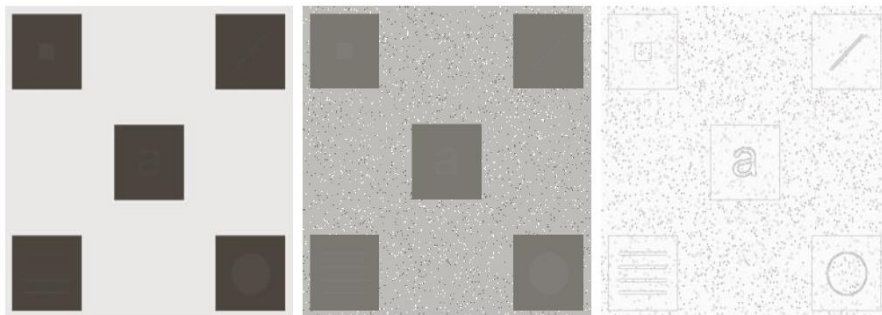
## Si può fare di meglio?

L'equalizzazione dell'istogramma vista in precedenza, non si presta ad un miglioramento dell'immagine relativo a dettagli in piccole aree (piccolo numero di pixel), in quanto essa prevede una trasformazione basata sulla distribuzione dei livelli di grigio nella intera immagine.



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Esempio 1



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Esempio 2



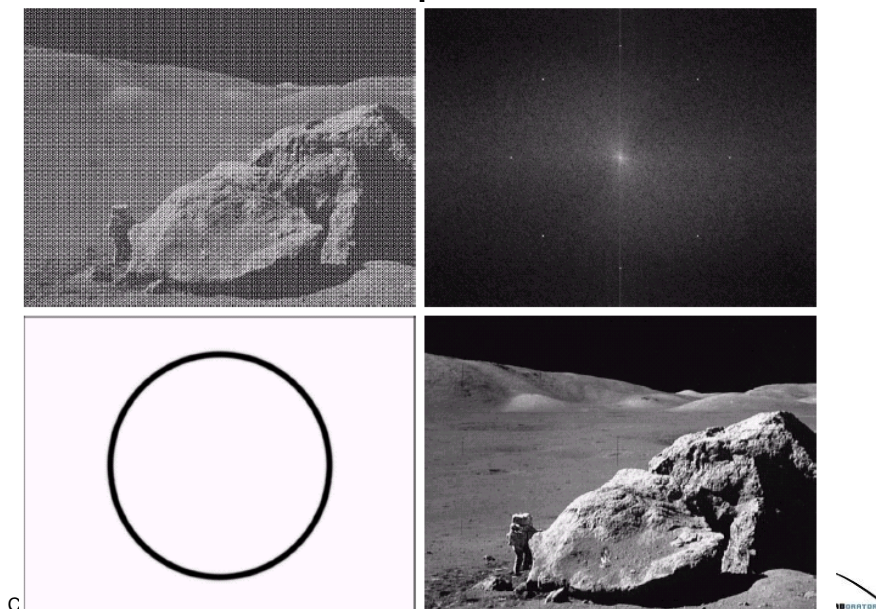
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Esempio 3



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Esempio 4



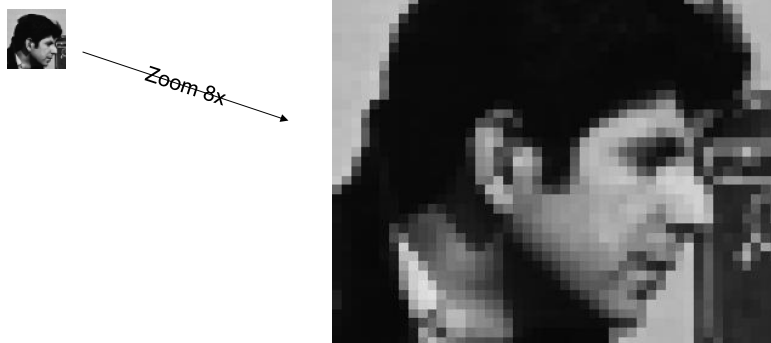
## Interpolazione

- Nelle immagini digitali **non è possibile** aumentare il **dettaglio** ingrandendo l'immagine.



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Zoom

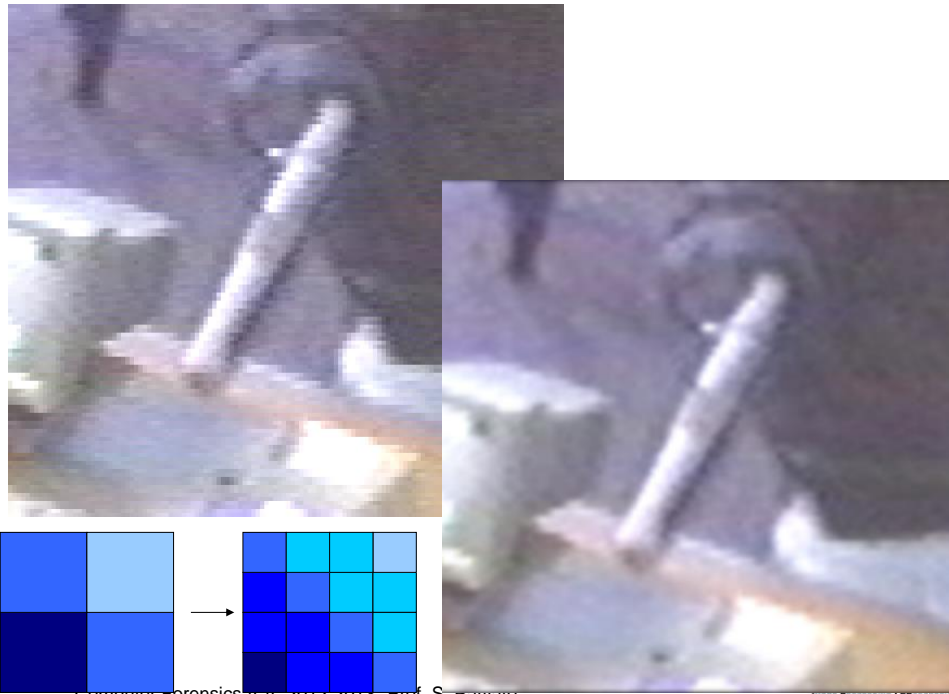


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Interpolazione



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Conoscere i dati...

Standard di compressione  
Formati (recenti e non solo)

Problema dei formati proprietari (es. Video Sorveglianza)

# Formati Grafici

## Compressi/non Compressi

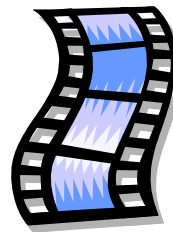
- BMP
- GIF
- PNG
- JPEG
- J2K
- TIFF
- PPM/PGM
- Raw
- ..

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Video Digitali: fondamenti

- Un video digitale è costituito da una sequenza di immagini statiche che vengono visualizzate in sequenza con una certa frequenza temporale.
- Video come segnale discreto
  - Campionamento temporale della scena
  - Ad ogni istante la scena è “fotografata”
- Sequenza video
  - Successione di istantanee
  - ⇒ Fotogrammi (*frame*)



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato





# Video Digitali: fondamenti

Per poter trasmettere o memorizzare dei file video è necessario definire degli standard riguardanti sia gli algoritmi di codifica/decodifica dei flussi multimediali, sia i protocolli necessari al loro trasferimento e al loro controllo sulla rete.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Video Digitali

- Risoluzione spaziale
- Risoluzione temporale (frame-rate)
- Formati di codifica
- Encoder/Decoder (Codec)
- Motion Estimation

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Risoluzione temporale

La frequenza delle immagini, anche chiamata **frame rate**, è il numero di immagini per unità di tempo che vengono visualizzate.

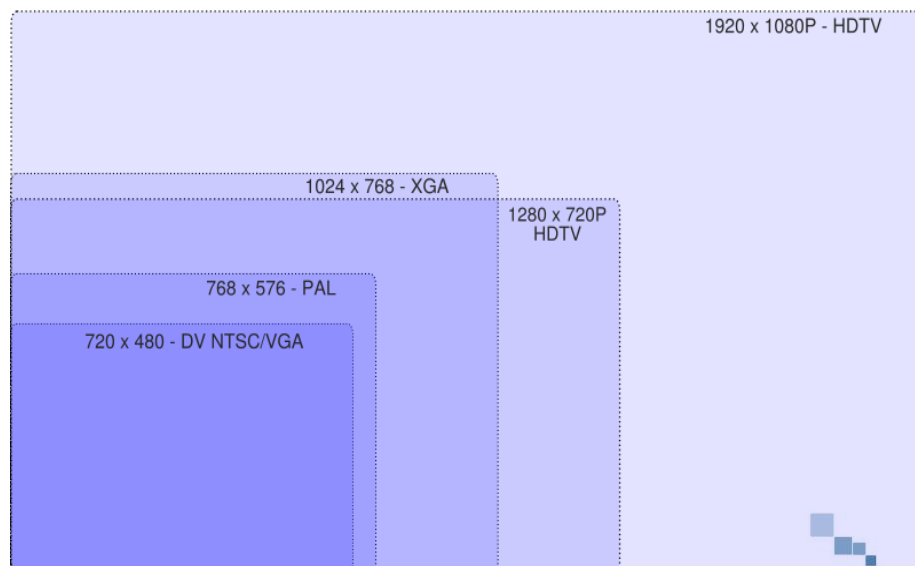
Gli standard PAL (Europa, Asia, Australia, etc.) e SECAM (Francia, Russia, parti dell'Africa etc.) hanno 25 fps, mentre l'NTSC (USA, Canada, Giappone, etc.) ha 29.97 fps. La pellicola ha una registrazione ad un frame rate minore, 24fps.

**Per raggiungere l'illusione di un' immagine in movimento il frame rate minimo è di circa 10 fotogrammi al secondo.**

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



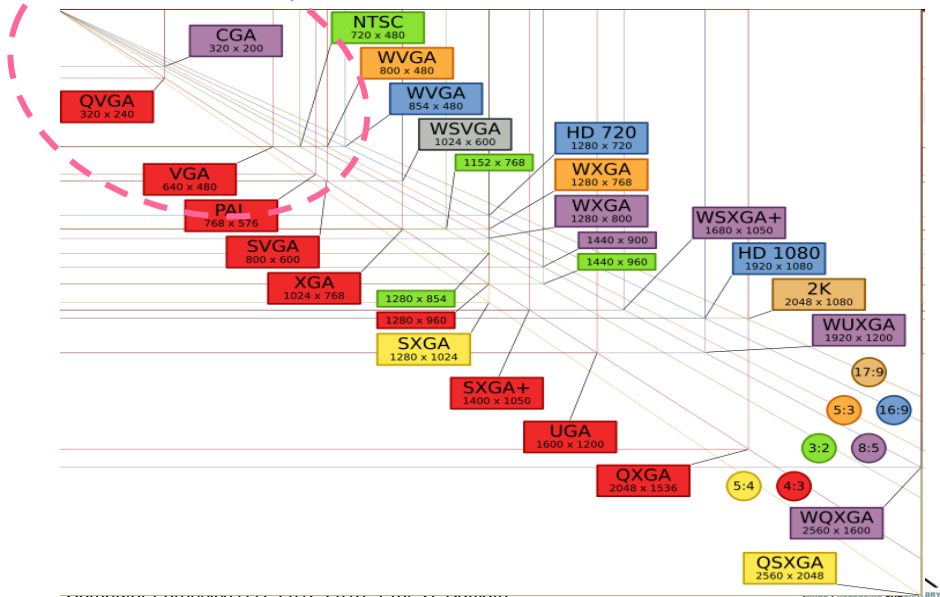
## Risoluzione dei formati



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Mobile Imaging



## ASPECT RATIO

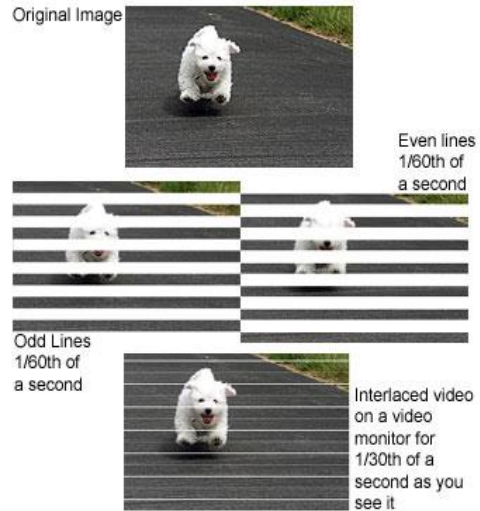
L'aspect ratio è il rapporto tra larghezza/altezza dell'immagine.

- **4:3** è il formato standard televisivo. Con la nascita dei Dvd e dei nuovi formati televisivi digitali è destinato alla scomparsa.
- **16:9 Widescreen** è caratterizzato da dimensioni orizzontali più ampie del 4:3, con le proporzioni panoramiche tipiche dello schermo cinematografico. Ne esistono varianti più o meno allargate.
- Il **Letterbox** permette di visualizzare il widescreen su schermi 4:3. L'immagine viene scalata fino a farlo rientrare nello schermo con l'aggiunta di due bande nere orizzontali sopra e sotto il video.
- **Pan&Scan** è un'altra tecnica per visualizzare il widescreen su 4:3. La differenza col letterbox sta nel mostrare solo la parte centrale dell'immagine tagliandola sui lati.



# Interlacing

- Immagine divisa in *field* pari o dispari
- Si alternano i *field* per metà tempo rispetto ai *fps* del filmato
- Su monitor si notano artefatti, sul televisore non accade



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

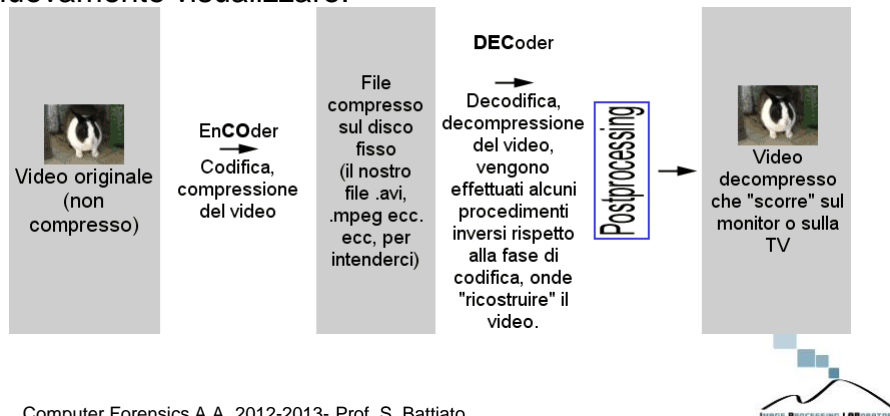
# Interlacing e deinterlacing



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## La compressione video

Un **CoDec video** (*Co-Dec = Coder/Decoder*) è un software composto da due parti: l'**enCoder** che comprime la sequenza di immagini (video) archiviandola in un file ed un **Decoder** necessario per decomprimere la sequenza e poterla nuovamente visualizzare.



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

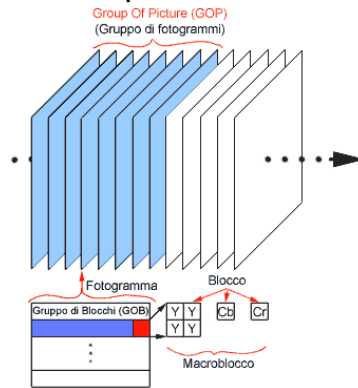
## Lossless/Lossy

Anche le tecniche di compressione video possono essere suddivise in **tecniche lossless**, dove la compressione è un processo perfettamente reversibile che avviene senza perdita di informazione e **tecniche lossy** dove la compressione non è reversibile, nelle quali video compresso e decompresso non sono più perfettamente identici in quanto al momento della compressione sono state volutamente eliminate alcune informazioni ritenute "sacrificabili".

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Video

Un video è costituito da una successione di immagini che si susseguono in rapida sequenza. Quindi quando si comprime un flusso video si stanno sostanzialmente comprimendo delle immagini.



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Come è possibile comprimere un video?

***Si utilizzano tecniche che sfruttano alcune caratteristiche intrinseche del video stesso, in combinazione con le caratteristiche del sistema visivo umano.***

In particolare è possibile comprimere un segnale video attaccando:

- la ridondanza spaziale e la ridondanza temporale
- le caratteristiche del sistema visivo umano

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Come è possibile comprimere un video?

In particolare è possibile comprimere un segnale video:

- ***Rimuovendo la ridondanza (ripetività) statistica contenuta in un video*** e mantenendo solo le informazioni effettivamente utili; si cerca una rappresentazione "meno correlata" delle immagini, eliminando le "ripetizioni".
  - Si può dimostrare che **pixels adiacenti**, vicini, all'interno di una stessa immagine, presentano caratteristiche molto simili per quel che riguarda il colore e la luminosità; la **codifica intra-frames** si occupa di rimuovere questa ripetitività altresì detta **ridondanza spaziale** all'interno dello stesso fotogramma.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Come è possibile comprimere un video?

- Esiste inoltre una netta **correlazione non solo tra i pixel dello stesso fotogramma**, ma anche tra i **pixels di fotogrammi adiacenti**: un fotogramma ed i due vicini (il successivo ed il precedente) spesso risultano pressoché identici (fanno eccezione le situazioni in cui si hanno cambi di scena); questa **ridondanza temporale** tra fotogrammi vicini che ne sfrutta le loro minime differenze, viene trattata dalla **codifica inter-frames**.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Come è possibile comprimere un video?

- **Sfruttando alcune peculiarità del sistema visivo umano:** la scarsa sensibilità dell'occhio alle alte frequenze video soprattutto se si tratta di immagini in movimento. E' possibile "tagliare", buttar via, alcune informazioni soprattutto relativamente alle alte frequenze di un'immagine senza introdurre artefatti visibili. Il sistema visivo umano non è infatti in grado di percepire le variazioni nei dettagli di figure molto frastagliate; è molto difficile rendersi conto di una perdita di dettaglio nelle fronde di alcuni alberi in movimento; molto più semplice invece notare anche la più piccola variazione di colore o luminosità nell'azzurro di un cielo limpido e sereno sullo sfondo di un video.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Compressione statica

- Conversione dello spazio di colore: da RGB a YUV 4:1:1
- **Blocking:** l'immagine viene suddivisa in macroblocchi di 16x16 pixels
- DCT, Discrete Cosine Transform
- Quantizzazione
- Zig-Zag Scanning (Scansione a Zig-Zag)

**Sostanzialmente si esegue una compressione in stile JPEG!!!!**

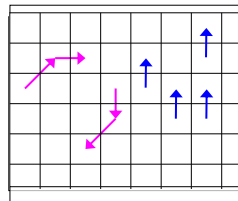
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato





## Block Matching

- Esplicita l'idea di rendere uniforme il moto di pixel vicini
  - Frame partizionato in blocchi non sovrapposti
  - Un vettore di moto per ogni blocco



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Formati di Codifica

- Il "formato" è una sorta di scatola che contiene il codec e lo integra con il sistema.
- Il "**codec**" (COmpressore-DECompressore) è un software che dice al computer con quali operazioni matematiche deve manipolare le immagini per comprimerle e quali eseguire per visualizzare quelle compresse.
- I codec esistenti sono tantissimi al contrario dei formati.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Formati di Codifica

- Elenco dei principali formati:(.avi - .mpeg e mpeg2 - .hdv - .mpeg4 o .divx - .wmv - .mov - .flv - .3gp - .asf - .flm - .real media audio/video - .dv)

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Video Standard

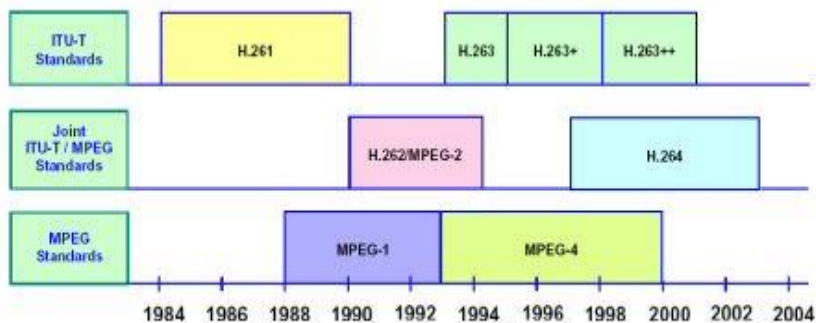


Figure 1. Progression of the ITU-T Recommendations and MPEG standards.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Altri CodecVideo

- Sorenson video - Quicktime – Real Video
- Indeo video - Cinepack - Mpeg1 -Mpeg2 -
- Mpeg4 - H264 - DIVX e XVID

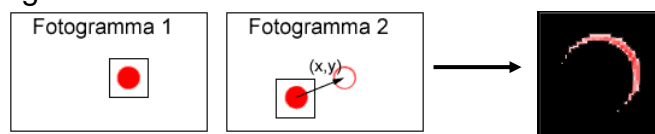
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Motion Estimation (ME)

L'**encoder individua** tra i fotogrammi adiacenti (nel solo fotogramma precedente, o nel precedente e nel successivo a seconda dei casi) **il blocco più simile** (se non uguale).

Dopodichè viene associato al blocco su cui è stata effettuata l'analisi, un **vettore di moto**, cioè una coppia di numeri tipo  $(x,y) = (-1,4)$  che individuano sul piano ipotetico rappresentato dal fotogramma, il vettore di spostamento, che indica verso e entità dello spostamento del blocco passando dal fotogramma 1 al fotogramma 2.

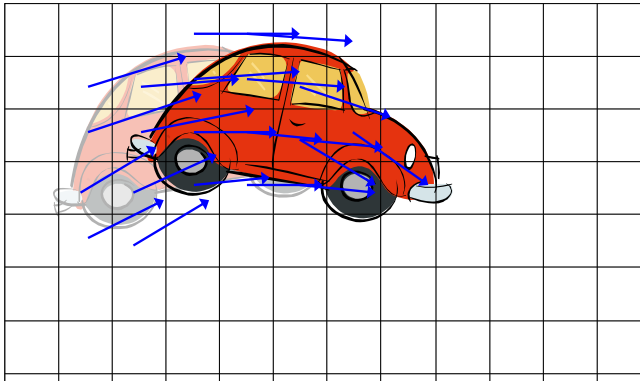


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Esempio

- Vettori di moto

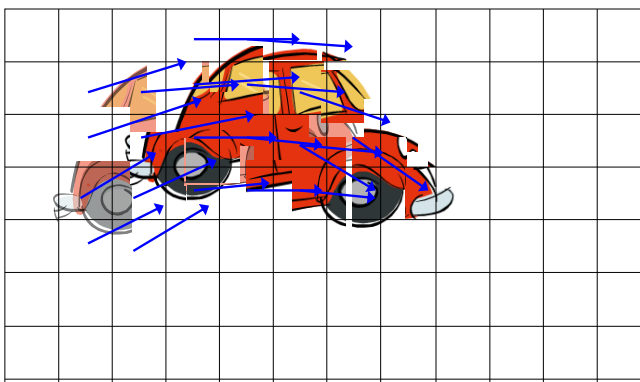


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Esempio

- Compensazione del moto (per blocchi)

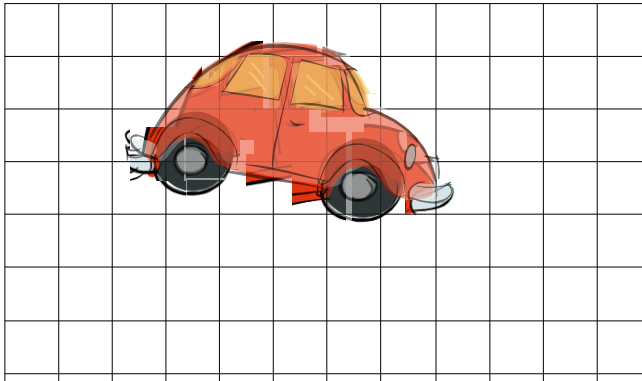


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Esempio

- Differenza tra *previsione* e *frame reale*

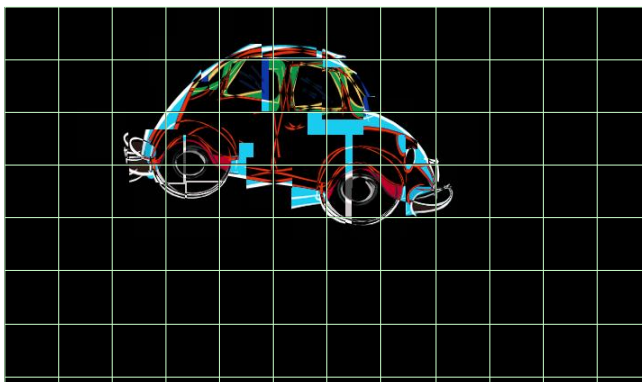


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Esempio

- Errore di compensazione

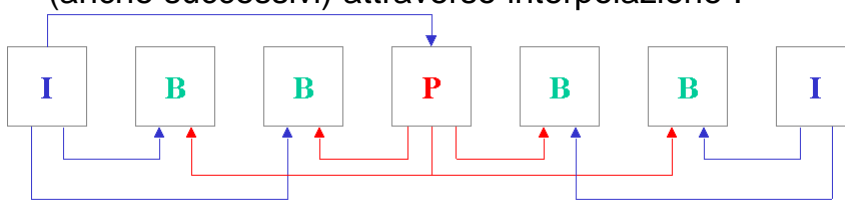


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Frames I/P/B

- Gli standard MPEG prevedono la classificazione dei frame in tre tipi: I, B, P .
- *I frame* è un frame video completamente indipendente.
- *P frame* (*predictive frame*) si basa su un precedente I frame.
- *B frame* (*bi-directional frame*) è costituito da informazioni ricavate sia da I frame che P frame (anche successivi) attraverso interpolazione .



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

IMAGE PROCESSING LABORATORY

## Intra-Frames

I fotogrammi di tipo I, chiamati anche **Intra-Frames** o **Key-Frames** (fotogrammi chiave), sono fotogrammi che vengono codificati utilizzando le informazioni contenute nel fotogramma stesso e non contengono nessun riferimento od informazione sui fotogrammi adiacenti; in pratica sono compressi alla stregua di un'immagine singola, allo stesso modo di quando un'immagine viene salvata in formato JPEG. Nessun tipo di compressione temporale (ovvero compressione che tiene conto anche dei fotogrammi successivi e/o precedenti) viene applicata a questi fotogrammi.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

IMAGE PROCESSING LABORATORY

## Intra-Frames

In genere i fotogrammi chiave vengono inseriti dal codec ogni qualvolta vi sia un **repentino cambiamento** tra due immagini successive. Se inoltre viene specificato un **intervallo massimo** tra un fotogramma chiave ed il successivo il codec dovrà necessariamente inserire un fotogramma chiave anche se non strettamente necessario.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## P-Frames

Il fotogramma P, (**Predicted frames**) viene codificato utilizzando informazioni acquisite in base al fotogramma che lo precede, sia questo di tipo I o di tipo P. Ogni macroblocco di 16x16 pixels di un P-Frame **può essere codificato** in modo indipendente (come nel caso dell'I-Frame) oppure può essere **compensato**, cioè bilanciato utilizzando informazioni del fotogramma precedente.

Utilizzando le somiglianze tra fotogrammi successivi i fotogrammi P risultano essere più piccoli dei corrispondenti I-Frames.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## P-Frames

Un fotogramma di tipo P **contiene le informazioni della posizione** (X',Y') nel fotogramma corrente in cui si è spostato un blocco che aveva coordinate (X,Y) in quello precedente (Motion Estimation/Compensation).

Lo **svantaggio** dell'utilizzo di questo tipo di fotogrammi si ha in fase di **decodifica**; è infatti necessario "ricostruire" ciascun fotogramma P prima di poterlo visualizzare, e per far questo si deve sempre partire dal fotogramma P seguente all'ultimo fotogramma chiave.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## B-frames / Bi-directional encoding

Per i fotogrammi **di tipo B** la ricerca del moto (motion estimation/ compensation) è effettuata non solo sul fotogramma **precedente** (come nel caso di P-Frames) ma anche sul fotogramma **successivo**. La codifica ed anche la decodifica risultano quindi decisamente più complesse.

Sostanzialmente i fotogrammi B sono di tipo "**Bidirezionale**", nel senso che fanno riferimento sia a ciò che li precede, sia a quello che segue. Inserire in un fotogramma informazioni che si riferiscono ad un fotogramma successivo è possibile solo alterando l'ordine in cui i fotogrammi vengono archiviati all'interno del file video compresso.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato





## Esempio

Supponiamo di avere 4 fotogrammi da comprimere.

Il primo di questi sarà necessariamente un fotogramma chiave (I-Frame), mentre vogliamo che i successivi due siano B-Frames (che generalmente hanno una dimensione di 1/4 del P-Frame corrispondente). L'ultimo deve essere necessariamente un P-frame, in quanto i fotogrammi B necessitano dopo di loro di qualcosa da cui essere derivati. In sequenza avremmo:

n° fotogramma	1	2	3	4
tipo di fotogramma:	I	B	B	P

I fotogrammi verranno archiviati all'interno del filmato in questo modo:

n° fotogramma	1	4	2	3
tipo di fotogramma:	I	P	B	B

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Esempio

Dopo aver codificato l'I-Frame, l'encoder salta avanti di due fotogrammi e codifica quello che è destinato ad essere il fotogramma P (ovvero il quarto) e lo codifica come se seguisse immediatamente l'I-frame:

n° fotogramma	1	4
tipo di fotogramma:	I	P

Questo processo genererà un P-frame di dimensioni superiori a quello che si avrebbe codificando come P-frame il 2° fotogramma, in quanto generalmente vi saranno più cambiamenti (ovvero differenze) tra il 1° fotogramma ed il 4° che non tra il 1° ed il 2°. Tuttavia, l'utilizzo dei due B-frame porterà complessivamente ad una riduzione del numero di informazioni (dimensioni) necessarie alla codifica (come ho già detto un B-frame occupa 1/4 delle dimensioni di un P-frame).

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato





CATANIA, 29 APRILE 2013

## Seminario decentrato IISFA Mobile & Cloud Forensics

**Lunedì 29 Aprile 2013** 15.00 -19.00

### **Tracce digitali all'interno di Smartphone e Tablet**

Mattia Epifani

Digital Forensics Expert e responsabile formazione IISFA

### **Cloud computing e cloud investigation**

Davide Gabrini (Polizia di Stato) - Digital Forensics Expert

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## **Tracce digitali all'interno di Smartphone e Tablet - Mattia Epifani**

La crescente diffusione della globalizzazione "sempre connesso e ovunque" ha reso i dispositivi mobili protagonisti fondamentali nella scena del crimine e nell'ambito delle frodi interne aziendali. Gli investigatori possono utilizzare questi dispositivi come fonte di prova che va dal reperimento dello storico delle chiamate all'ultima navigazione su Internet. In questo seminario vengono affrontate le principali tecniche e strumenti per una corretta acquisizione, preservazione e analisi dei dispositivi mobili con particolare attenzione per i dispositivi Apple (iPhone e iPad).

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Cloud computing e Cloud Investigation – Davide Gabrini

La diffusione massiva del cloud computing non ha sollevato solo preoccupanti problemi di privacy, ma sta anche avendo un impatto non irrilevante sulle indagini penali: nuove metodologie e nuovi strumenti sono necessari affinché gli investigatori digitali possano fronteggiare le difficoltà legate al cambio di paradigma che la diffusione del cloud rappresenta sia nella moderna società dell'informazione, sia nello specifico mondo della criminalità informatica.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



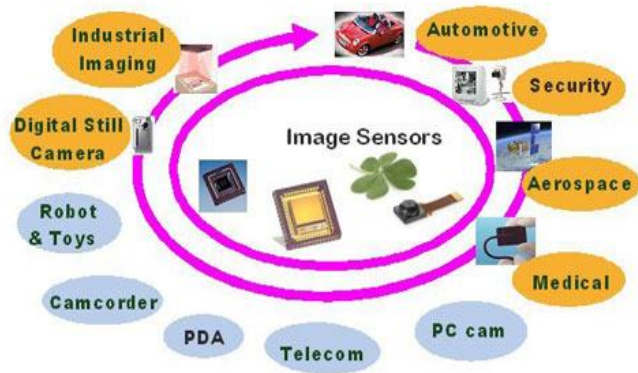
## Simulazione Dibattimentale

- Lunedì 29 Aprile – 10.00 -13.00
- Martedì 30 Aprile – 10.00-13.00
  - Aula M. Anile (Piano Terra DMI)
- Interverranno:
  - Dott. Caccavella
  - Avv. G. Nicosia (Foro di Grosseto)

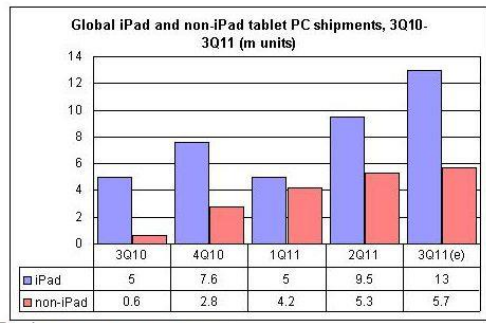
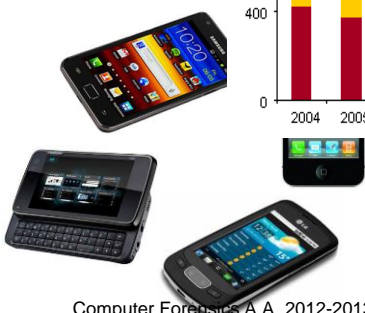
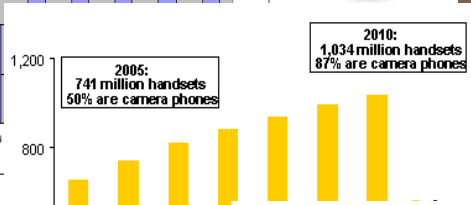
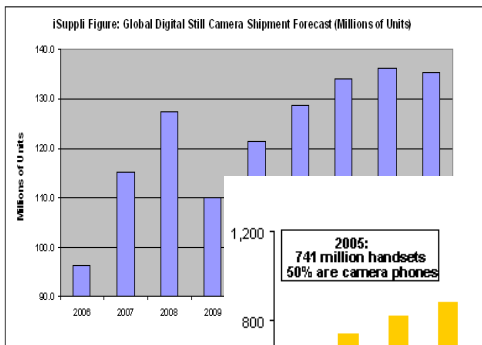
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Imaging Devices



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato Source: iSuppli Research, October 2011

# Mobile Imaging



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Major technical trade-offs and image quality consequences

1. High compression rate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visible JPEG artifacts</li> </ul>
2. Low embedded image processing capabilities	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rough demosaicing</li> <li>• Ringing</li> <li>• Aliasing</li> <li>• Low quality exposure control</li> <li>• Low color quality control</li> </ul>
3. Small size sensor & optics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High sensitivity to noise</li> </ul>
4. Wide angle lens & few lens elements	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blur</li> <li>• Vignetting (&amp; color vignetting)</li> <li>• Distortion</li> </ul>
5. Lack of flashgun & long exposure time	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blur (moving blur)</li> <li>• Interferences due to fluorescent lighting</li> </ul>

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## High compression rate

→ visible DCT artifacts  
(block effects)



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Low embedded image processing capabilities

→ • Rough demosaicing  
Noisy picture and artifacts



→ Low quality exposure control  
Lack of contrast in the picture



→ Low color quality control  
Color balance problems



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Very small and wide angle optics



- High sensitivity to noise



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Wide angle lens & few lens elements



- High level of blur
- High level of distortion
- High level of vignetting



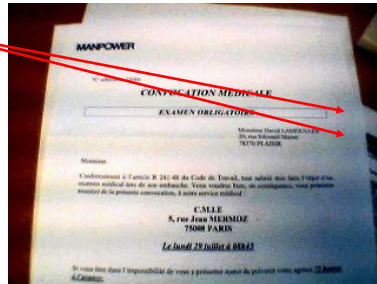
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Lack of flashgun & Long exposure time

➔ Moving blur

➔ Interferences due to fluorescent lighting



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Image Forensics: Che tool usare?

- General Purpose
  - Photoshop (GIMP, ImageJ)
    - Problemi di learning e di documentazione
- High-level (ci si scrive da se il codice che serve..solo per esperti )
  - Matlab
  - OpenCV library
- Forensics Software

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Tools per tutti

- Visualizzatori
  - ACDSee
  - Irfanview
  - Faststone viewer
  - Xnview
- Editor
  - Adobe Photoshop
  - The Gimp
  - Paint Shop Pro
  - **ImageJ**

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Software dedicati

- AMPED Five (<http://ampedsoftware.com> )
- dTective di Avid e Ocean Systems ClearID (<http://www.oceansystems.com/dtective/form/> )
- LucisPro (<http://www.LucisPro.com> )
- Ikena Reveal di MotionDSP (<http://www.motiondsp.com/products/lkenaReveal/form> )
- Video Focus di Salient Stills (<http://www.salientstills.com/products/videofocus/purchase.html>)
- Impress di Imix ([http://www.imix.nl/impress/impress\\_contact.htm](http://www.imix.nl/impress/impress_contact.htm) )
- Video Investigator di Cognitech (<http://www.cognitech.com/content/blogcategory/24/28/> )
- StarWitness di SignalScape (<http://www.starwitnessinfo.com/> )
- VideoAnalyst di Intergraph (<http://www.intergraph.com/learnmore/sgi/public-safety/forensic-video-analysis.xml> )
- CrimeVision di Imagine Products ([www.crimevision.net](http://www.crimevision.net) )
- Adroit Photo Forensics (<http://digital-assembly.com/products/adroit-photo-forensics/> )
- Image Error Level analyzer (<http://errorlevelanalysis.com>)
- JpegSnoop (<http://www.impulseadventure.com/photo/jpeg-snoop.html> )
- NFI PRNU Compare (<http://sourceforge.net/projects/prnucompare/>)
- Image Forensics Search System ([http://www.cse.ust.hk/image\\_forensics/](http://www.cse.ust.hk/image_forensics/) )
- Videntifier (<http://www.eff2.net> )

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Image Forensics (software open source)

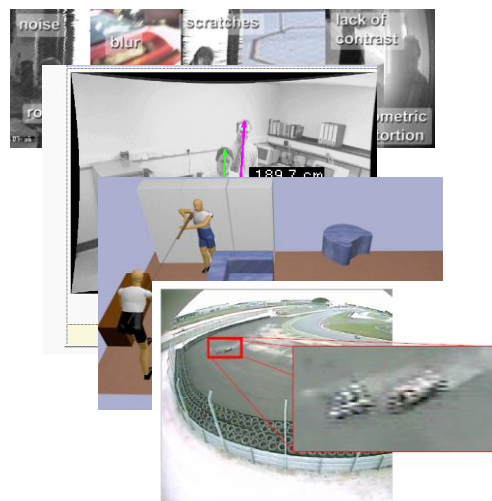
Progetti degli studenti di Informatica per il corso di **Computer Forensics** tenutosi presso l'Università di Catania a partire dal 2010

[svg.dmi.unict.it/iplab/imagej/index.htm](http://svg.dmi.unict.it/iplab/imagej/index.htm)

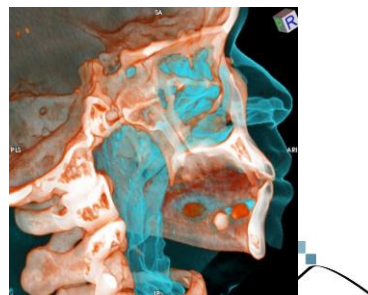
- [Fourier Elaboration](#)
- [Frames Global Average](#)
- [Histogram Equalization](#)
- [2D Measure](#)
- [2D Measure2](#)
- [Mean and Median Filter](#)
- [Gaussian Filter](#)
- [Hash Generation](#)
- [Measure](#)
- [Misalignment](#)
- [Misalignment2](#)
- [Resize Roi](#)
- [Canny Edge Detector](#)
- [Sobel](#)
- [Linear Filter](#)
- [Laplacian Filter](#)
- [Negative](#)
- [Schar](#)
- [Threshold](#)
- [Adaptive Threshold](#)
- [Measurement 1D](#)
- [Deinterlacing](#)
- [Flip](#)
- [Lens Distortion](#)
- [Optical Deblur](#)
- [Motion Deblur](#)

## Esempi..

- Image Reconstruction
- Self Embedding
- Video Analysis
- 3D Reconstruction
- Steganography
- Image Forgery Identification
- Image Source Identification



## Di che si tratta?



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Ovuli di Droga



Scansioni di tomografia computerizzata (TAC), utilizzate solitamente in ambito sanitario per malattie, vengono ora sfruttate per individuare pacchetti di droga nascoste nelle cavità del corpo per contrabbando illegale. (Fonte: Università di Berna)

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Image enhancement/restoration



- Recuperare un maggior numero di informazioni dall'analisi di un'immagine

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

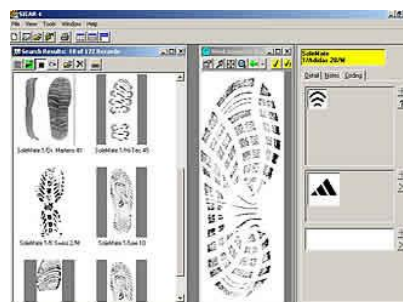


## Classificazione di informazioni



- Organizzazione delle informazioni visive secondo certi criteri

- Pastiglie
- Impronte di scarpe, pneumatici...
- Proiettili
- ...

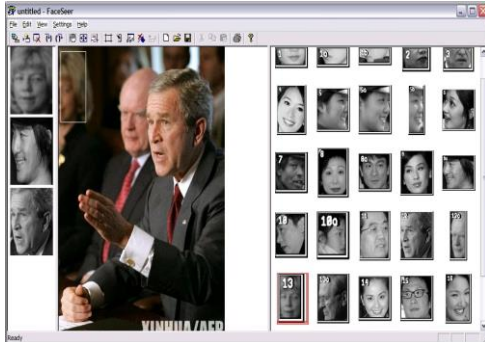


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Biometria

- Confrontare e riconoscere caratteristiche fisiologiche o comportamentali di un individuo

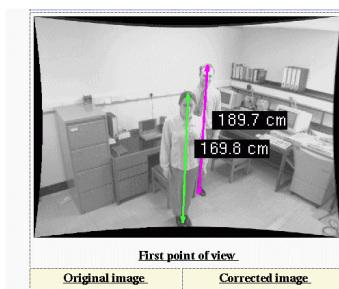


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



- Impronte digitali
- Palmo della mano
- Facce
- Iride
- Forma dell'orecchio
- ...

# Fotogrammetria e Ricostruzione 3D



- Valutazione di dimensioni in una scena tramite proporzioni con grandezze note.



- Analisi della dinamica di un evento
- Analisi di oggetti, luoghi, volti ...

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Ricostruzione della scena del crimine mediante ortofoto

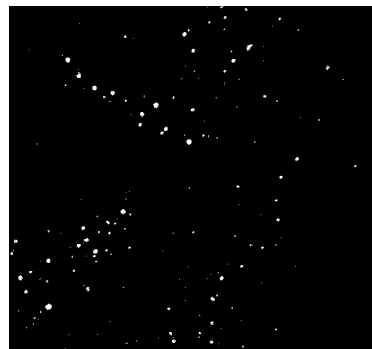


(Piero Boccardo, Politecnico di Torino)

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Estrazione automatica di dati (per es. conteggio macchie di sangue)



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



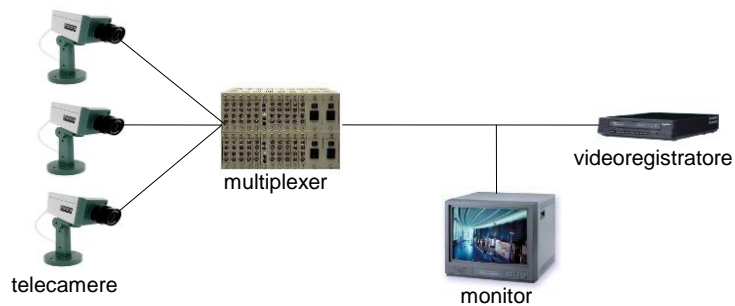
## Miglioramento di Qualità



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Dispositivi di acquisizione

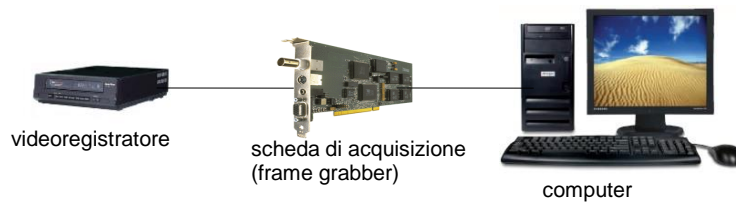


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Analogico o digitale?

- Molto spesso i filmati sono memorizzati su videocassetta
- Occorre digitalizzarli prima dell'elaborazione



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

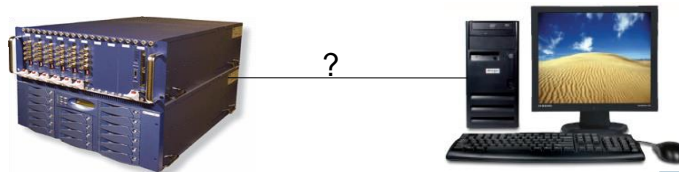


## Caratteristiche del digitale

- Non soggetto ad usura

**Ma...**

- Come lo connetto?
- In che formato sono i filmati?
- Come lo sostituisco (interruzione del servizio)?



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

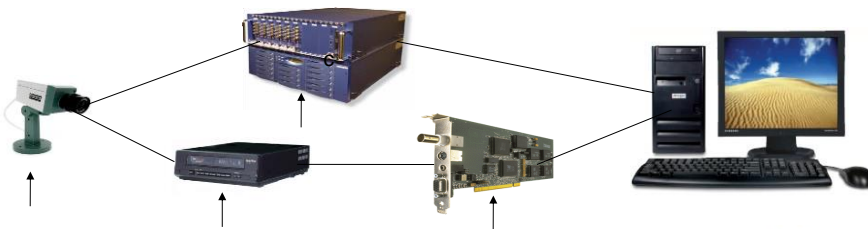




## Le fasi del processo

Diversi tipi di disturbi (noise) vengono introdotti:

- nell'acquisizione di informazioni (telecamera)
- nella memorizzazione analogica (VCR)
- nella memorizzazione digitale (DVR o frame grabbers)



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Acquisizione (I)



- Sfocatura (**Blurring**)
- Immagine in movimento
- Rumore (**Noise**)
- ...

2-2013- Prof. S. Battiato

## Acquisizione (II)



- Scarsa luminosità/contrasto
- Distorsioni Geometriche
- Standard adottati
- ...

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Memorizzazione analogica



- Usura dei dispositivi
- Interferenze
- ...

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Memorizzazione digitale



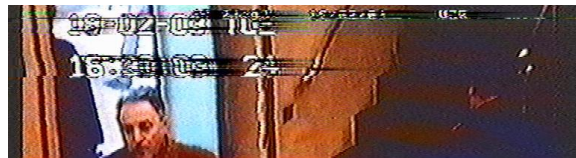
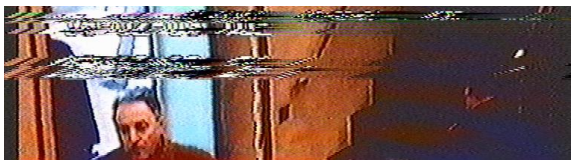
- Compressione lossy (es. JPEG)
- Compressione della dinamica
- ...

S. Battiato



## Image enhancement/restoration

- Si propone di enfatizzare/modificare alcune caratteristiche del segnale originale per migliorarne la qualità (**enhancement**) o invertire il processo di degrado (**restoration**)



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Image Enhancement/Restoration

- I problemi presentati possono essere in parte risolti con tecniche di image processing.
- Vari tipi di elaborazioni:
  - nel dominio dello spazio
  - nel dominio della frequenza
  - nel dominio del tempo (es. informazioni provenienti da più fotogrammi)
- Per ogni tipo di problema possono essere applicate diverse tecniche con differenti prestazioni, complessità e costo computazionale.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Riduzione del rumore



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato





originale

rovinata

median "+"

median 3x3

- esempio "ad hoc", ma la tecnica è alla base di filtraggi più complessi

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Rumore da compressione



originale (jpeg)

filtrata

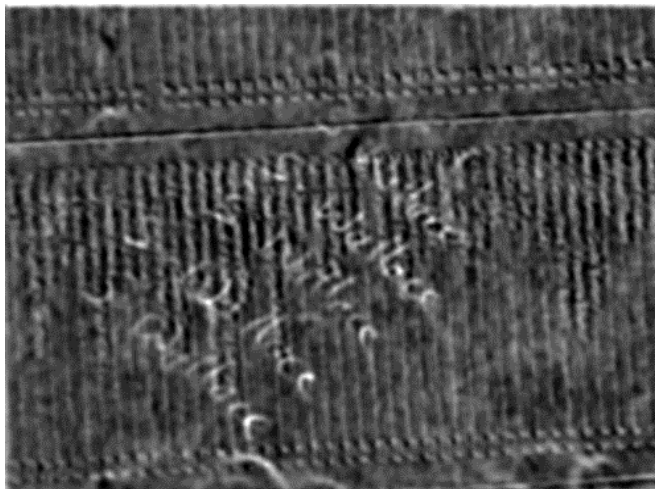
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Edge detection



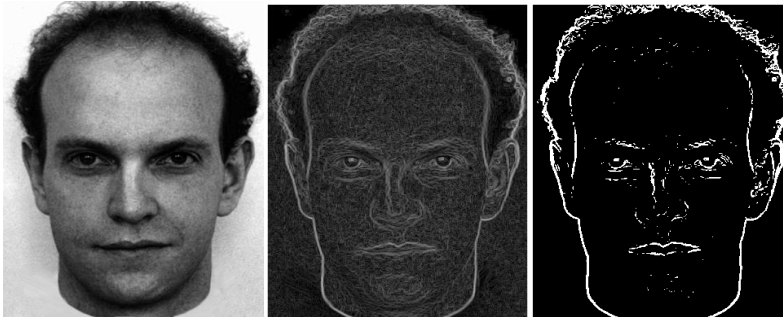
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Sid Wallace...



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Ancora edge



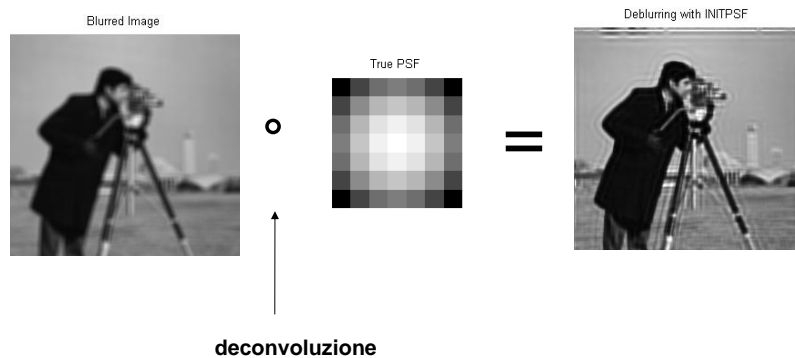
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Sfocatura



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Deconvoluzione



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Motion blur

- Se un elemento della scena si muove troppo velocemente rispetto alla telecamera può verificarsi la sfocatura da movimento (“motion blur”). E’ molto frequente nelle riprese notturne, in quanto, a causa di scarsa luminosità, il tempo di apertura è più elevato.

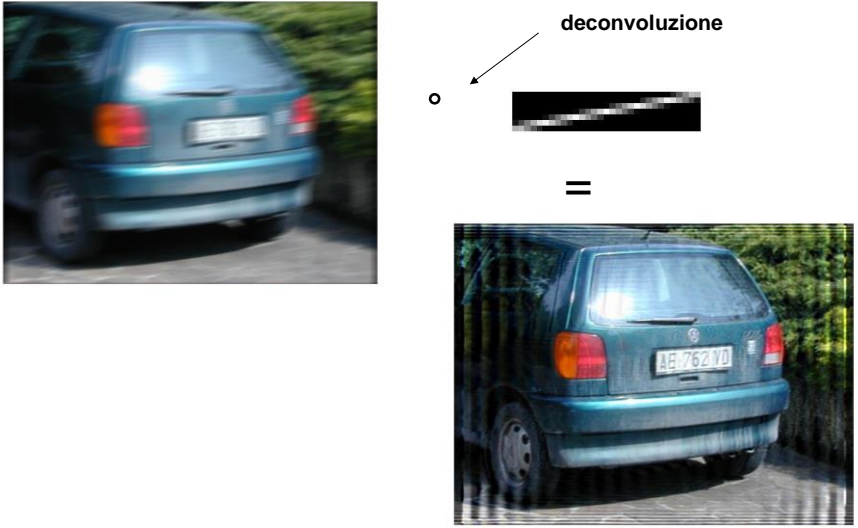


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato





# Motion Deblurring



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. B:

# Interlacciamento



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Deinterlacciamento



immagine dal campo dispari

immagine dal campo pari

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Deinterlacciamento adattivo



deinterlacciamento  
lineare



un esempio di  
deinterlacciamento  
adattivo

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

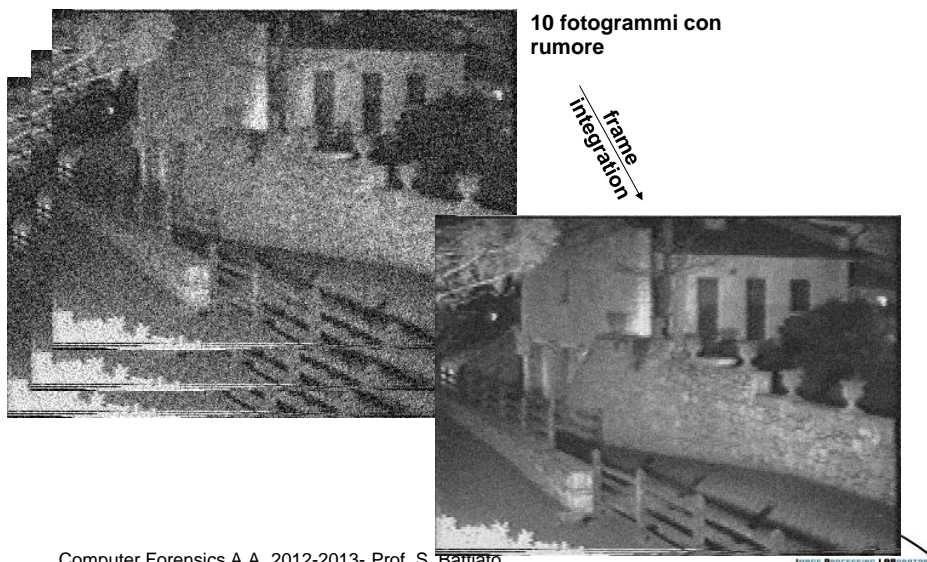
## Frame integration

- Data una sequenza di immagini che riprendono la stessa scena disturbate da rumore casuale a media nulla si puo' fare la media fra pixel corrispondenti su diversi frame.
- Con un numero infinito di fotogrammi il rumore dovrebbe annullarsi. Pur non avendo un infinito set di immagini...  
.. anche con un numero piuttosto ridotto i risultati possono essere notevoli!

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Frame integration



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Image registration

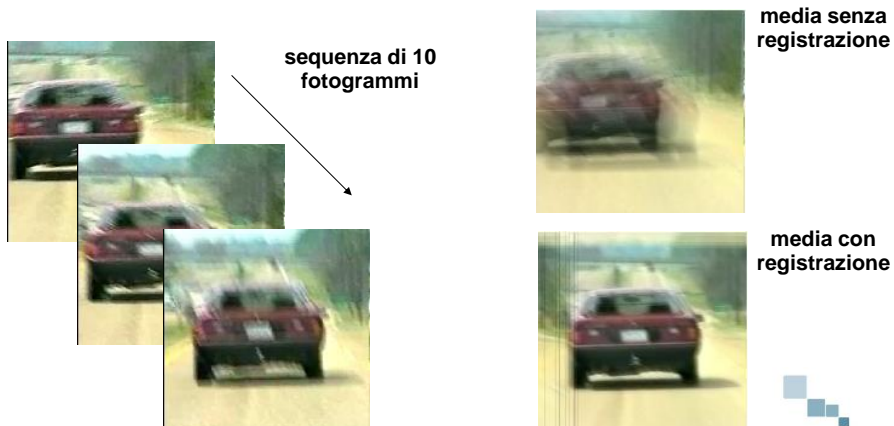
- Per effettuare frame integration è necessario che le immagini rappresentino esattamente la stessa scena. Questa ipotesi non è sempre soddisfatta, in quanto se la telecamera non è fissa o c'è qualche soggetto in movimento la scena è soggetta a cambiamenti in ogni fotogramma.
- Il processo atto ad allineare due immagini (o particolari di esse) viene detto **registrazione**. In generale, la registrazione di immagini è il processo tramite cui vengono fatte sovrapporre due o più immagini rappresentanti una scena presa in istanti differenti, da diversi punti di vista o con diversi sensori.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Stabilizzazione

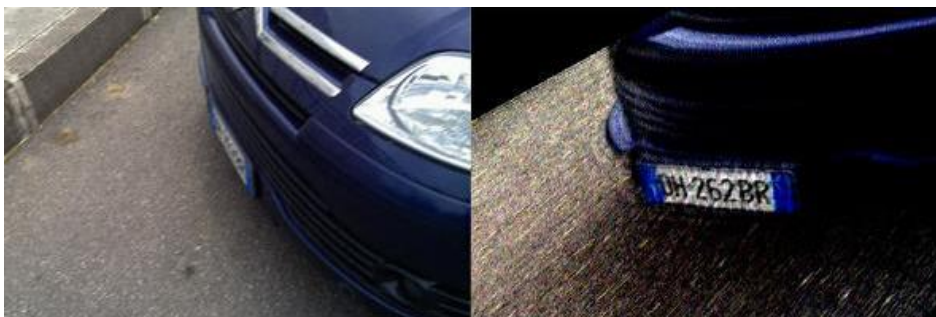
- Molto spesso per registrazione si intende l'allineamento di immagini spostate di una semplice traslazione, ad esempio per stabilizzare un ripresa mossa.



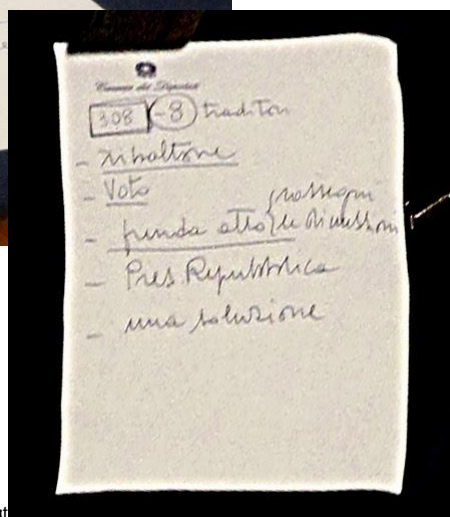
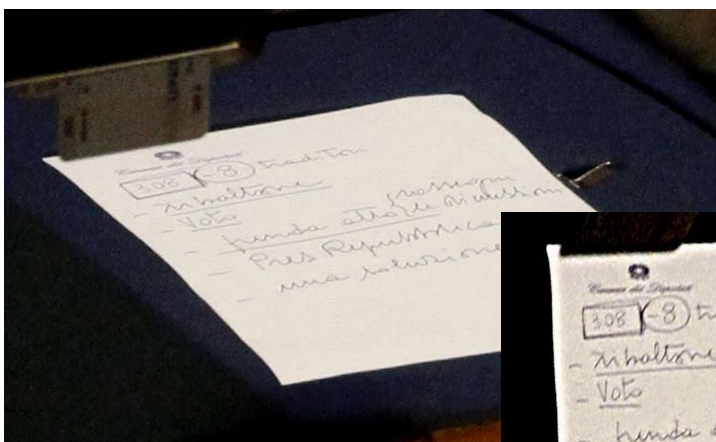
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Correzione Prospettica



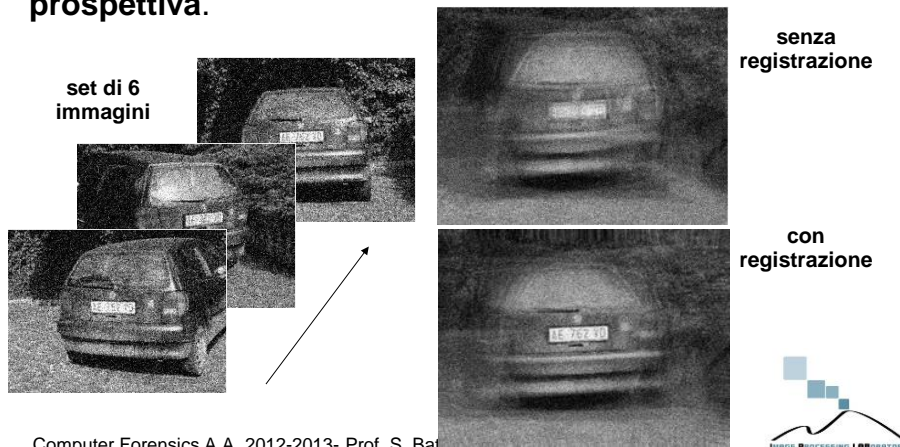
Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Correzione prospettica

- Tecniche più avanzate permettono di recuperare anche altri tipi di trasformazioni, come ad esempio l'effetto della **prospettiva**.



## Super risoluzione

- Tecnica per ottenere, a partire da più immagini in bassa risoluzione rappresentanti la stessa scena, un'immagine a risoluzione maggiore.
- Risultati potenzialmente notevoli.
- Ci sono molti algoritmi in letteratura, ma fanno spesso troppe assunzioni, non sempre verificate nei casi reali, che nella pratica impediscono di ottenere i risultati desiderati.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

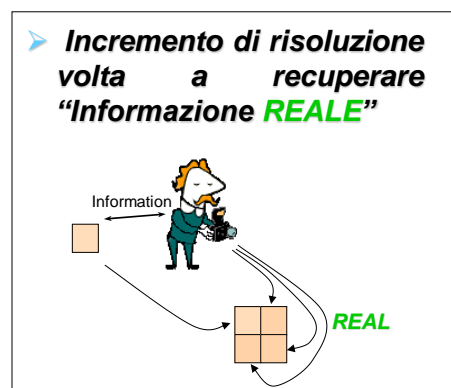
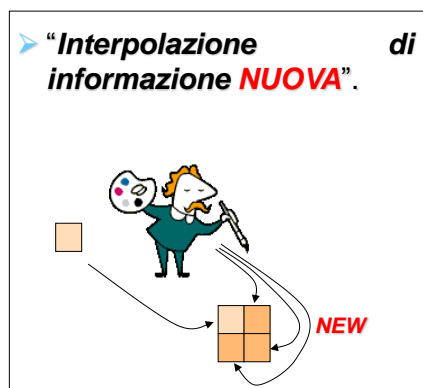
## Idea di base

- Nel processo di acquisizione l'immagine reale è stata sottoposta a sottocampionamento e sfocatura.
- Si utilizzano le informazioni provenienti da diversi fotogrammi per ricostruire le informazioni perse nel processo di acquisizione.
- Prima parte: processo di registrazione (con accuratezza superiore al pixel)
- Seconda parte: ricostruzione dei dati mancanti (ad esempio con interpolazione).

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Zooming vs Super resolution

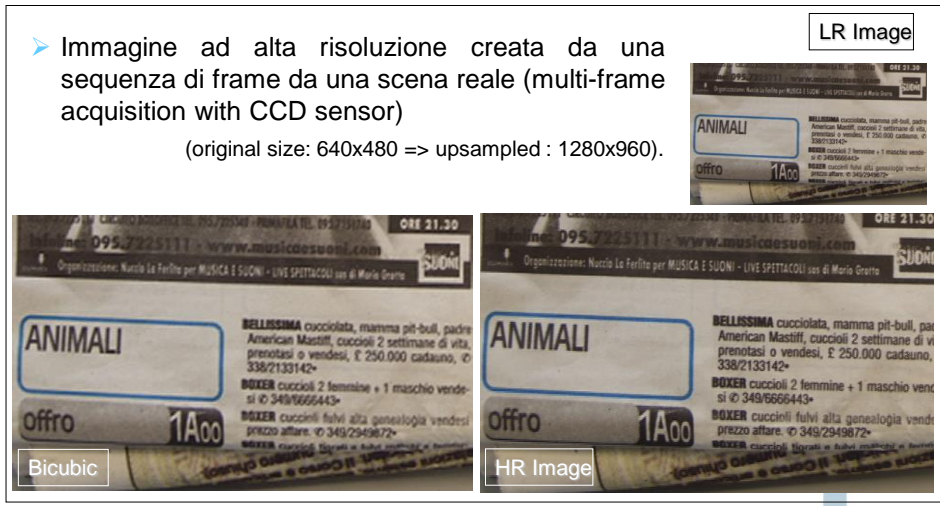


Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



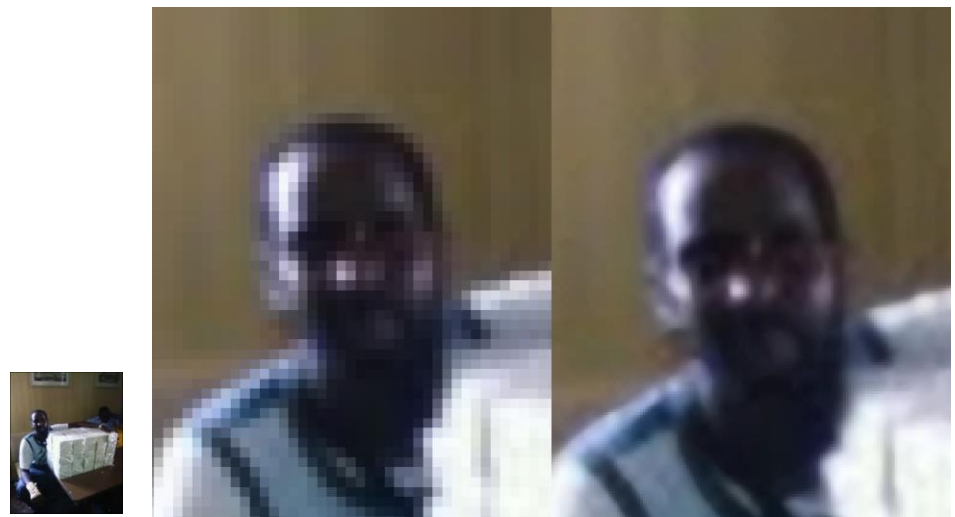
# Esempi

- Immagine ad alta risoluzione creata da una sequenza di frame da una scena reale (multi-frame acquisition with CCD sensor)  
(original size: 640x480 => upsampled : 1280x960).



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

# Super Resolution





## Motion detection

- Spesso i sistemi di videosorveglianza hanno dei meccanismi automatizzati per avvertire il personale responsabile (ad esempio con un allarme) qualora venga percepito del moto in scene riprese che dovrebbero essere statiche, ad esempio perché vi è vietato l'accesso.
- Le tecnica utilizzata per riconoscere il movimento è detta in generale **motion detection**.
- Le tecniche più elementari consistono nel calcolare semplicemente quanto è diverso un fotogramma da quello precedente o da uno di riferimento (detto background); se tale differenza, che può essere calcolata in vari modi, supera una certa soglia allora il sistema segnala all'utente una presunta presenza di moto.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Motion detection



immagine di riferimento

immagine senza movimento



immagine con movimento



immagine differenza



immagine differenza

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Separazione di componenti

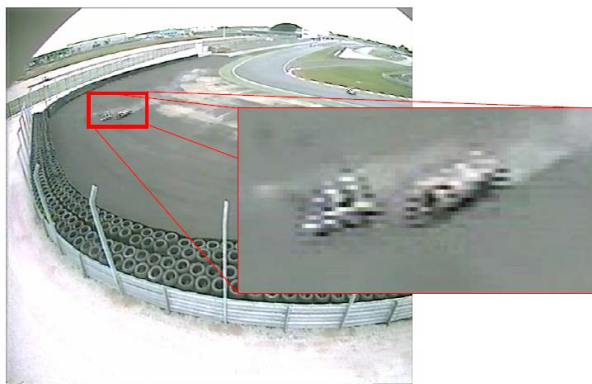
- Estrazione di diverse componenti di un'immagine.
- Diverse tecniche, ad esempio:
- Color deconvolution: isola le tonalità desiderate;
- Independent component analysis: separa due segnali sufficientemente scorrelati.



Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

## Other

- Altri aspetti
  - Identificazione della camera (modello, marca , ecc.)
  - Fotogrammetria (misurazioni da scena 2D)

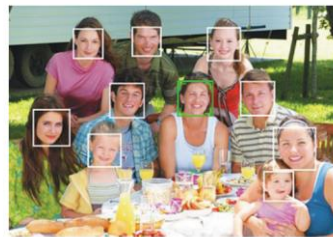
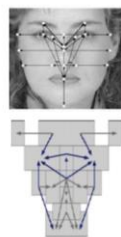


Computer Forensics A.A. 2012-20

## Nuove prospettive.....

## Automatic Content Filtering

- Metadata - timeline, model
- Skintones
- Faces
- Similar images
- Objects
- ...



## Classical Hashing on Images: Some Sources of Variability



Original



Rotation



Scale



Crop



Light



Pose



Context

**Image: MD5**

Original: 5972FB15A2FDFA7215134B5BACD4D032

Rotation: 6B0BC6F3DBD450EF3E9BE8CCBDB2480F

Scale: D3CFFA588D5B4CF3395A69AC6EDAB4A5

Crop: 6CF3D1FD20388DE3F8D1858C4D7A53C7



Light: 38B5E48E46898E1E5E7207AEB4255518

Pose: 9030E506156664E0BBD6AA76F3CA1748

Context: 0F3055E092C73155690C822D6BA18BAD



## Image Matching

Distance( ,  )=LOW



Distance( ,  )=HIGH



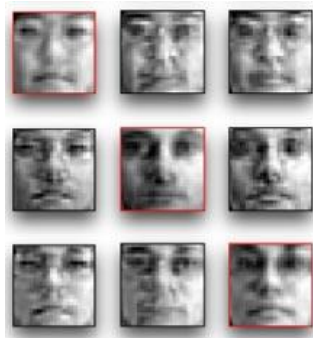
## Soluzioni Esistenti

- **Photo DNA**  
(<http://www.microsoftphotodna.com/>)
- **VideoGenome**  
(<http://v-nome.org/>)
- **Videntifier**  
(<http://www.eff2.net/>)

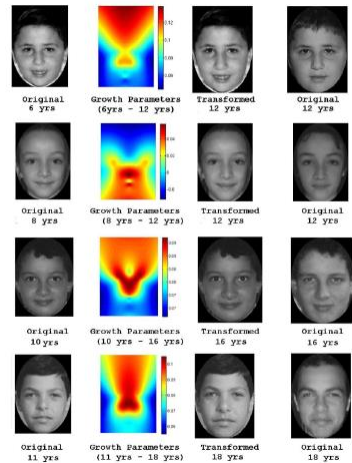
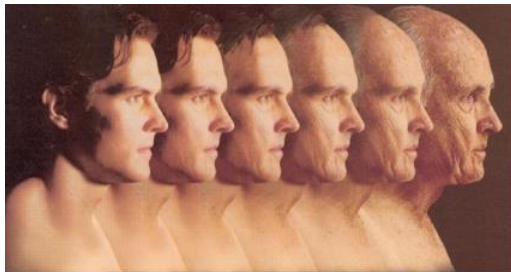


## Problemi difficili: Riconoscimento da thumbnail

- Solo in presenza del soggetto (o di sue foto)
- Segni caratteristici (cicatrici, ecc.)



# Riconoscimento ed Aging



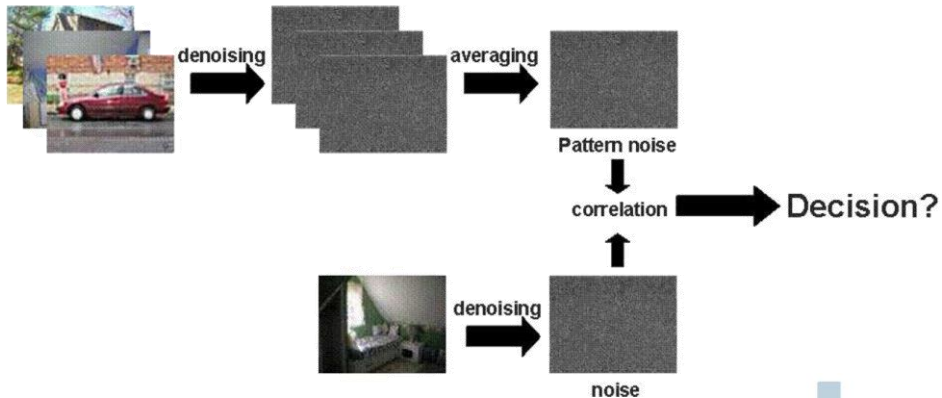
# Identificazione della Camera



## Fingerprint basato su:

- Pattern legato al rumore del sensore;
- Dati derivati dal particolare formato (raw, EXIF, codifica JPEG, ecc.);
- Alibi?

## Identificazione della camera (noise based)



## 3d Reconstruction – Forensic PhotoSynth

<http://photosynth.net/view.aspx?cid=1ea8d7c6-9042-483e-8a60-2717647e05f1>



## Conclusioni

- Le tecniche di Image (video) Forensic costituiscono sicuramente un ulteriore strumento di indagine a disposizione degli investigatori per poter estrarre ed inferire, utili informazioni dalle immagini (e dai video) digitali anche nel caso di dispositivi mobili.
- Per essere in grado di recuperare o di inferire delle evidenze di prova è comunque necessaria una adeguata competenza specifica che richiede uno studio sistematico dei **fondamenti della teoria dell'elaborazione delle immagini e dei video digitali**. I software esistenti agevolano il lavoro degli investigatori ma non riescono per forza di cose ad automatizzare in maniera sistematica ed efficiente tali operazioni e richiedono l'ausilio di professionisti esperti.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Referenze (1)



### ***Elaborazione delle Immagini Digitali - terza edizione***

di Gonzalez, Woods - Ottobre 2008

Pagine:840

Euro 53,00 (on line 45 euro)

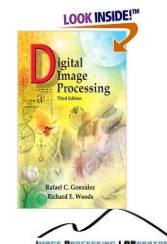
ISBN 9788871925066

Capitoli 1-5, 10

<http://hpe.pearson.it/gonzalez>

<http://www.imageprocessingplace.com>

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato





## Referenze (2)



### **Fondamenti di Image Processing**

di S. Battiato, F. Stanco

Ottobre 2006 Pagine: 150 Prezzo: 20 Euro –  
EdiArgo ISBN: 88-88659-49-8

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



## Referenze

- S. Battiato, G. Messina, R. Rizzo - **Image Forensics - Contraffazione Digitale e Identificazione della Camera di Acquisizione: Status e Prospettive** - Chapter in *IISFA Memberbook 2009 DIGITAL FORENSICS* - Eds. G. Costabile, A. Attanasio - Experta, Italy 2009;
- S. Battiato, G.M. Farinella, G. Messina, G. Puglisi - **Digital Video Forensics: Status e Prospettive** -Chapter in *IISFA Memberbook 2010 DIGITAL FORENSICS* - Eds. G. Costabile, A. Attanasio - Experta, Italy 2010.
- S. Battiato, F. Stanco - **Fondamenti di Image Processing Guida teorico/pratica per l'elaborazione e la codifica di immagini digitali** – ISBN: 88-88659-49-8 - EdiArgo, October 2006.
- R.C. Gonzalez, R.E. Woods - **Elaborazione delle Immagini Digitali** - ISBN: 9788871925066 Pearson Italia (2008) - Supervised by S.Battiato and F. Stanco.

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato



# Contatti

Per ulteriori dettagli o info si visiti il sito

**Image Processing Lab**

Università di Catania

[www.dmi.unict.it/~iplab](http://www.dmi.unict.it/~iplab)

Oppure email

[battiato@dmi.unict.it](mailto:battiato@dmi.unict.it)

Computer Forensics A.A. 2012-2013- Prof. S. Battiato

