

# Elaborazione delle Immagini

Sara Angeretti

@Sara1798

Fabio Ferrario

@fefabo

2023/2024

# Indice

<b>1</b>	<b>Il corso</b>	<b>6</b>
1.1	Programma del corso . . . . .	6
1.2	Gli orari . . . . .	6
1.3	Programma Esteso . . . . .	7
1.4	Libri di testo . . . . .	7
1.5	Contatti . . . . .	8
1.6	L'esame . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Cenni sulla visione</b>	<b>11</b>
2.1	Formazione del segnale immagine . . . . .	11
2.1.1	Imaging . . . . .	13
2.1.2	Radiometria e grandezze radiometriche . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Digitalizzazione delle immagini</b>	<b>14</b>
3.0.1	Nei video . . . . .	14
3.1	Segnale immagine o irradianza . . . . .	16
3.2	Campionamento vs quantizzazione . . . . .	16
3.2.1	Campionamento . . . . .	17
3.2.2	La risoluzione . . . . .	17
3.2.3	Vari modi per rappresentare un'immagine . . . . .	18
3.2.4	Quantizzazione . . . . .	18
3.3	Digitalizzazione immagini a colori . . . . .	19
3.3.1	Lo spazio colore RGB . . . . .	19
3.3.2	HUI Hetc ho perso . . . . .	20
3.3.3	Memorizzare i colori . . . . .	20
3.4	Compressione delle immagini . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Operatori puntuali</b>	<b>21</b>
4.1	Preprocessing delle immagini . . . . .	21
4.1.1	Operatori sulle immagini . . . . .	21
4.1.2	Elaborazioni puntuali . . . . .	22

4.1.3	E. locali . . . . .	22
4.1.4	Istogrammi . . . . .	22
4.1.5	Contrasto e luminosità locale . . . . .	23
4.2	Operatori puntuali lineari . . . . .	24
4.3	. . . . .	25
4.3.1	Es. di istogramma . . . . .	25
4.3.2	Proprietà degli istogrammi . . . . .	25
4.3.3	Concetto di stretch . . . . .	25
4.4	Operatori puntuali non lineari . . . . .	25
4.4.1	Logaritmico . . . . .	25
4.4.2	Gamma . . . . .	26
4.5	Modifiche del contrasto . . . . .	26
4.6	LUT - look-up table . . . . .	27
4.7	Trasformazioni puntuali basate sull'istogramma . . . . .	27
4.8	Operatori puntuali pt.2 . . . . .	27
4.8.1	Miglioramento locale . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Operazioni fra immagini</b>	<b>30</b>
5.1	Slicing . . . . .	30
5.2	Operazioni aritmetiche fra pixel . . . . .	30
5.2.1	Differenza . . . . .	30
5.3	Media di una sequenza . . . . .	31
<b>6</b>	<b>Operatori locali</b>	<b>32</b>
6.0.1	Operazioni locali . . . . .	32
6.0.2	Tipi di rumore . . . . .	33
6.0.3	Degrado dell'immagine . . . . .	33
6.1	Rumore . . . . .	33
6.1.1	R. gaussiano . . . . .	33
6.1.2	R. impulsivo . . . . .	33
6.1.3	Dove nasce il rumore . . . . .	33
6.1.4	Stima del rumore . . . . .	33
6.1.5	Il modello gaussiano . . . . .	33
6.1.6	Quantificare il rumore di acquisizione . . . . .	34
6.2	Metriche oggettive . . . . .	34
6.2.1	Quantificare la perdita di informazione/qualità . . . . .	34
6.2.2	MSE . . . . .	34
6.2.3	PSNR . . . . .	34
6.2.4	confronto . . . . .	34
6.3	Riduzione del rumore . . . . .	34
6.3.1	Filtraggio . . . . .	34

6.3.2	Filtri spaziali . . . . .	34
6.3.3	Image restoration . . . . .	35
6.4	Filtri spaziali . . . . .	36
6.4.1	Correlazione e convoluzione . . . . .	37
6.5	Smoothing . . . . .	38
6.5.1	Gaussiana . . . . .	38
6.5.2	Smoothing: vantaggi e svantaggi . . . . .	39
6.5.3	Filtro mediano . . . . .	39
6.5.4	Media vs mediano . . . . .	40
6.5.5	Mid point e Alpha Trimmer mean filter . . . . .	40
6.5.6	Filtri con maschera rotante . . . . .	40
6.6	Esercizio . . . . .	41
6.7	Next time . . . . .	41
<b>7</b>	<b>Equalizzazione dell'istogramma</b>	<b>42</b>
7.0.1	I. normalizzato . . . . .	42
7.0.2	I. cumulativo . . . . .	42
7.0.3	Equalizzazione totale e locale . . . . .	43
<b>8</b>	<b>Sharpening e Operatori derivativi</b>	<b>44</b>
8.1	Filtri di sharpening . . . . .	44
8.1.1	Bande di Mach . . . . .	44
8.1.2	Sharpening . . . . .	44
8.1.3	Filtri derivativi . . . . .	45
8.1.4	Operatore Laplaciano . . . . .	45
8.1.5	Sharpening mediante laplaciano . . . . .	45
8.1.6	Unsharp masking: high-boost filtering . . . . .	46
8.2	Operatori Derivativi - gradiente . . . . .	47
8.2.1	Sharpening mediante filtri derivativi . . . . .	47
<b>9</b>	<b>Trasformazioni geometriche</b>	<b>49</b>
9.0.1	Possibili problemi . . . . .	49
9.1	Scaling delle immagini . . . . .	49
9.2	Zooming delle immagini . . . . .	49
9.3	Mapping diretto dei pixel . . . . .	50
9.3.1	Primo passo soluzione . . . . .	50
9.3.2	Secondo passo soluzione . . . . .	50
9.3.3	Possibili soluzioni diverse e pi sofisticate . . . . .	50
9.3.4	Interpolazione con Mapping inverso dei pixel . . . . .	50
9.3.5	Tipi di interpolazione . . . . .	51
9.4	Traslazioni geometriche . . . . .	51

*INDICE*

5

**10 Spazi colore**

**52**

# Capitolo 1

## Il corso

Il corso di Elaborazione delle Immagini 2023-2024 è erogato dai professori **Schettini** Raimondo e **Ciocca** Gianluigi.

### 1.1 Programma del corso

Durante il corso lo studente acquisirà competenze specifiche che lo porranno in grado di comprendere la catena di elaborazione, analisi e classificazione di immagini e video. Lo studente acquisirà inoltre le competenze necessarie per progettare, sviluppare ed integrare specifici moduli in sistemi applicativi complessi.

#### Competenze per cui questo corso prepara: esempi

Image Recognition in the Consumer Goods and Services Industry (supported by Accenture). Per esempio, una certa marca di prodotto paga un costo aggiuntivo al proprio valore per essere venduto ad altezza occhi per 10-12 metri di scaffale, mentre il prodotto sull'ultimo scaffale ha meno costi aggiuntivi. Parole sue: ***meglio essere quello che automatizza di quello che viene automatizzato.***

### 1.2 Gli orari

**Martedì** U24 C1 13:30-16:30 Lezione

**Giovedì** U14 LabA1 11:30-13:30 Lezione

**Venerdì** U14 LabA1 08:30-11:30 Lezione fino a metà Ottobre, poi Laboratorio

Le aule potrebbero cambiare di settimana in settimana.

Sono previsti seminari, in orario di lezione e non, e sono parte integrante del corso.

## 1.3 Programma Esteso

1. Cenni sulla percezione visiva, la visione umana e artificiale, il colore. Acquisizione e digitalizzazione di immagini.
2. Miglioramento delle immagini con operatori puntuali.
3. Filtraggio spaziale lineare e non-lineare.
4. Spazi colore. Elaborazione delle immagini a colori.
5. Segmentazione di immagini per regioni e per contorni.
6. Analisi tessiturale; Morfologia Matematica.
7. Descrizione e rappresentazione di immagini (regioni, contorni, approssimazione poligonale).
8. Riconoscimento, classificazione supervisionata e non supervisionata.
9. Introduzione alle reti neurali convoluzionali profonde.

## 1.4 Libri di testo

- R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, Second Edition, 2002. Prentice Hall.
- R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, Third edition, 2008 Prentice Hall. <http://www.imageprocessingplace.com/>
- R. Gonzalez, R. Woods, elaborazione digitale delle immagini, terza edizione (utile per chi ha difficoltà con l'inglese) non ha tutti i capitoli.
- R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, forth edition, 2018 Prentice Hall.

Credo sia quest'ultimo perché parlava dell'ultimo del 2018. Comunque fa che costicchia, tipo tra i 100 e i 150€, ma se lo compri sull'Amazon indiano costa tipo 25\$ wth. Comunque giovedì 28 lo porta in aula. Che mentiroso,

non l'ha fatto.

Ocio non quello in italiano perché mancano i capitoli finali. <http://www.imageprocessingplace>

Dispense a cura del docente (formato elettronico e/o cartaceo)

Alcuni libri on-line su argomenti affini al corso possono essere trovati al seguente indirizzo: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/books.htm>

## 1.5 Contatti

Comunicazioni docente-studenti

- Messaggi di posta elettronica [raimondo.schettini@unimib.it](mailto:raimondo.schettini@unimib.it)
- Nel subject usare la parola chiave [EI]
- Firmare i messaggi con nome e cognome e mandarli solo quando essenziale
- Per esigenze di tipo organizzativo (prenotazioni, esami, ecc.) rivolgersi alla segreteria del dipartimento, non al docente.

Ricevimento studenti: Raimondo Schettini

1. U14, 2° piano, stanza 2059
2. Per appuntamento via mail (specificare il motivo della richiesta).
3. Dopo le lezioni.

Possibilità di stage/tesi:

1. Consultare il sito del laboratorio per avere una idea delle tematiche possibili per stage interni [www.ivl.disco.unimib.it](http://www.ivl.disco.unimib.it).
2. Inviare CV e piano di studi (con i voti degli esami sostenuti) a [raimondo.schettini@unimib.it](mailto:raimondo.schettini@unimib.it)
3. Verrete convocati per un colloquio in cui vi verranno proposti stage interni od esterni.

## 1.6 L'esame

L'esame è composto di due prove:



**Prova Scritta**

- Sostenuta il giorno dell'appello d'esame come da SIFA
- Valutata in 30-esimi
- Consiste in un insieme di domande con risposte a scelta multipla e libera
- Due step
  1. 5 domande "base" di sbarramento (5 punti) max 15 minuti  
Chi NON risponde correttamente a 4 su 5 domande di sbarramento non ha superato l'esame
  2.  $N$  domande con punteggio variabile (25 punti in totale) ha fatto vedere un esempio, un esercizio sulle chiavi
- Se il voto è  $< 18$  l'esame non è superato.
- Se il voto è  $\geq 18$  si passa al progetto.

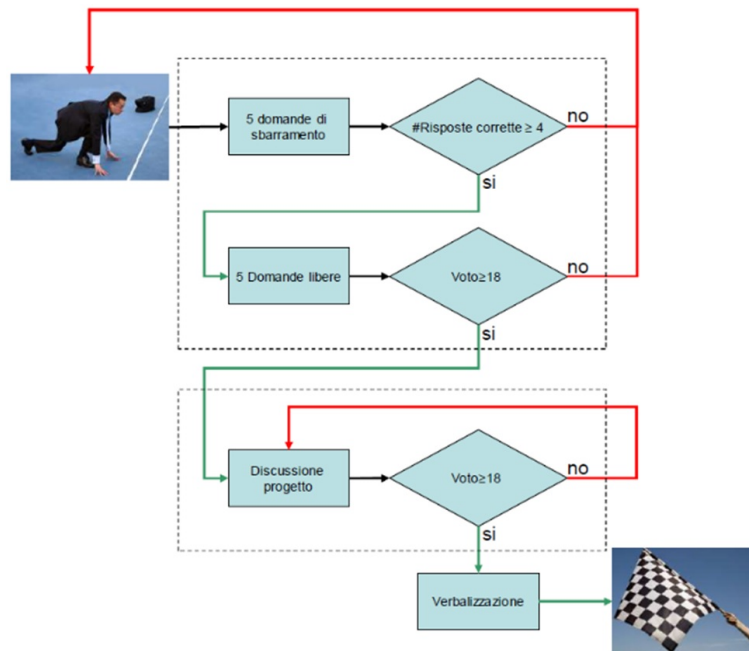
**Prova Pratica**

- La prova pratica consiste nella valutazione e discussione dello svolgimento di un progetto
  - Possibile svolgere il progetto in gruppi di **minimo 2 persone** massimo 3 persone
- Verranno valutate
  - Funzionalità del codice del progetto (demo live)
  - Slides che illustrino la struttura del progetto, le tecniche e algoritmi utilizzati, risultati ottenuti
- Se il voto è  $< 18$  l'esame non è superato.
- Se il voto è  $\geq 18$  si passa alla verbalizzazione.
- Il progetto può essere svolto in qualunque linguaggio di programmazione
- Le slides devono descrivere schematicamente il funzionamento dell'applicazione sviluppata:

- Mediante diagrammi di flusso
- Descrizione di alto livello (macro-moduli)
- Descrizione dei singoli moduli

### Informazioni finali

- La prova pratica può essere sostenuta in un appello diverso dalla prova scritta (purché superata)
  - Es. Prova scritta sostenuta all'appello di Febbraio, superata e prova pratica sostenuta all'appello di Luglio.
- Il voto della prova scritta rimane valido fino all'ultimo appello dell'anno corrente
  - Indicativamente Febbraio 2021 - Settembre/Novembre 2022
  - Dal primo appello del nuovo anno (2022), il voto viene, di norma, annullato
- Il progetto è unico per tutti gli appelli dell'anno corrente
- La prova pratica deve essere presentata da tutti i membri del gruppo
  - Almeno un membro del gruppo deve aver superato lo scritto
- Il voto della prova pratica è individuale



# Capitolo 2

## Cenni sulla visione

### 2.1 Formazione del segnale immagine



Le immagini vengono generate da radiazioni percepite da un sensore, siccome esistono diversi tipi di radiazioni (e di sensori), esistono anche diverse tipologie di immagini. La banda Elettro Magnetica che il nostro sistema visivo è in grado di percepire è molto ridotta sullo spettro elettromagnetico. Questa banda che noi possiamo vedere é chiamato **Spettro di Luce Visibile**.

Ci sono sempre nuovi sensori che permettono di rivelare altri tipi di radiazioni.

Es.: immagini della Luna, o lastre a raggi X fatte in ospedale, o angiogrammi, o altre immagini mediche.

Mentre diversi tipi di illuminazione sono: raggi gamma, raggi X, UV, luce visibile, infrarosso, onde radio. . .

Una stessa scena acquisita con diversi rivelatori genera immagini anche molto diverse fra loro. Potremmo avere:

- immagini di *riflessione* (e.g. immagini radar, sonar, slide stampata...)
- immagini di *emissione* (e.g. termografie, questa slide a monitor...)
- immagini di *trasmissione* (e.g. raggi X, questa slide sul proiettore...)

Riprendo da qua con interazione fra radiazione e materia, slide 9.

La lunghezza d'onda è proporzionale all'energia: lunghezze più basse (e pericolose) sono con energia più alta e viceversa. Ma non ha senso, ho capito male?

Ha fatto vedere immagini di luna e mediche. Sono tutte grigie. Come mai? Ad ogni immagine è associato uno scalare che danno informazioni per la mappazione.

Come mai un oggetto (es la felpa del compagno) è di un certo colore es blu? La luce è bianca, ma i range vengono quasi tutti assorbiti tranne il range che effettivamente vediamo.

L'immagine è un array dove per ogni elemento c'è un'informazione. Es a livello di grigio o sul colore.

**Vector vs Raster** Che differenza c'è fra un'immagine vector e un'immagine Raster?

La vector salva l'immagine in forme geometriche, es di un cerchio salva centro e raggio e ogni volta che la usi o sposti o copi viene ridisegnata, si salvano i vettori dei poligoni e il colore e vengono ridisegnate invece di memorizzare tutta l'immagine. Il vantaggio è la riutilizzabilità, nel senso che posso zoommare quanto voglio e l'immagine rimarrà nitida. La Raster invece è formata da pixel quindi ha una sua risoluzione e se vado ad ingrandirla diventa sgranata e illeggibile.

**I pixel** Il concetto di pixel è molto relativo: le immagini tipo da satellite avranno dei pixel giganteschi, mentre un'immagine piccina del pc o della mia fotocamera li avrà molto piccoli.

Problema delle scale: una delle prime difficoltà che troviamo quindi è che in una stessa immagine trovo oggetti che sono su scale diverse. Ma non tratteremo questo aspetto: ci sono algoritmi in grado di stimare la distanza fra oggetti raffigurati ma se ne parla alla magistrale (mi sono persa il nome tecnico di questo studio). Il problema è che è la grandissima maggioranza delle applicazioni che troviamo.

### **2.1.1 Imaging**

Fabio, qua mi manca un pezzettino.

### **2.1.2 Radiometria e grandezze radiometriche**

Studio del trasferimento di energia, energia emessa da un certo oggetto, etc.  
Immagine.

## Capitolo 3

# Digitalizzazione delle immagini

Slide delle fasi dei Digital Image Fundamentals, siamo nella prima, digital world.

Immagini binarie,  $x \in [0, 1]$ , appartiene ad una classe o all'altra.

Abstract? Immagini scala di grigio, la trasformo in array. chiedo a fabio

$l(x, y) \in (a, b)$

la digitalizzazione di immagini a colori è più complessa, la rappresento con 3 valori, una per ogni canale.

I canali non sono colori, sono visualizzati a livello di grigio (0-255) e in fase di visualizzazione esce il colore.

Altri tipi di immagini, satellitari ad es., che sono a 7 bande. Perché 7? La visione umana è a 3 bande, quindi 3 canali.

Oltre al visibile, potremmo essere interessati ad altre informazioni es. certi range per le onde elettromagnetiche (es. se l'uva è matura, se è inquinata, etc., cose non visibili a occhio).

### 3.0.1 Nei video

Abbiamo una dimensione in più. partiamo dai diversi frame che prendono ad es. le basse luci, le luci medie e le luci alte che vengono poi combinate per creare le immagini Hcos?

Perché utile? Perché nelle camere più moderne brevi sequenze video vengono combinate per creare immagini migliori.

Slide differenze immagini analogiche e digitali. La prima ha parametri spaziali che replicano le dimensioni reali, le seconde sono rappresentate da livelli di grigio.

## Acquisizione di immagini

Due dispositivi:

- dispositivi analogici
- dispositivi digitali

La qualità del colore per le immagini analogiche è migliore per quanto riguarda il colore.

quando dico che un'immagine è digitale, è digitalizzata nel dispositivo con cui la acquisisco.

## Caratterizzazione dell'immagine

il processo di dormazione dell'immagine implica il mapping di una scena 3D in 2D, viene proiettata. Con questa proiezione rischio di perdere il senso di distanza (o lo perdo proprio sempre?) (slide digitalizzazione di immagini).

a meno che non si metta nell'immagine un riferimento assoluto che conosco per certo, non riesco a capire le reali dimensioni dell'oggetto. È quello che diceva nella prima lezione quando parlava delle iridi come campione di misura.

## Digitalizzazione di immagini

Le camere fotografiche digitali moderne sfruttano lo stesso concetto alla base della camera oscura.

È anche l'idea alla base della Polaroid. Perché quando togliamo la pellicola l'immagine diventa tutta grigia? Perché come ha detto Fabio non c'è la lente, non c'è la camera, perciò esce tutta grigia.

Ha nominato un algoritmo "Gray cosa?" che useremo per bilanciare le immagini.

La camera pinhole crea un'immagine riflessa dell'oggetto. Due slide su camera pinhole.

Potremmo fare un buco più grande per fare entrare più luce, ma non avendo la lente l'immagine esce molto sfocata.

Si usano quindi le **lenti**, che hanno una teoria molto complicata ma focalizza l'immagine.

Seguono slide utili per completezza. Una è su parametri geometrici, ottici, fotometrici... più ovviamente i parametri dei sensori.

## I sensori

Slide con la matrice grigia.

Ho un filtro, un vettore e un array.

Quando uso il filtro? Per togliere infrarossi e ultravioletti, riduce tutto ciò che non è luce visibile.

Quando uso il vettore (la linea)? Oggi si usa su ali dell'aereo o droni per fare foto aeree.

Quando uso la matrice? Boh.

Slide figura 2.13

La risoluzione più alta ce l'ho a sinistra (che si muove) o quella a destra su cui ho messo i sensori?

Decisamente la prima perché la controllo io, la seconda è la dimensione del sensore. Lo scanner migliore (ha fatto l'esempio dello scanner a casa) è quello che ha la risoluzione più alta. Quindi sinistra.

## 3.1 Segnale immagine o irradianza

Questo è troppo semplificato sul libro. Slide con l'immagine della donna.

È il prodotto dell'illuminazione e della riflettanza.

Guarda la slide manca il secondo pezzo.

La riflettanza va da 0 a 1, l'illuminazione dipende dalla sorgente. Ma è *sempre* fra 0 e 1? Ha fatto l'esempio della discoteca e dei raggi UV. Alcune sostanze, alcuni sbiancanti, assorbono, rielaborano e riemettono la luce dei raggi UV.

## 3.2 Campionamento vs quantizzazione

Slide presa dal Gonzales, c'è una matrice. Il prof mette l'origine nell'elemento in basso a sinistra, il libro in alto a sinistra. La slide successiva mostra i grafici differenze fra campionamento e quantizzazione, dove è possibile vedere il *rumore*.

La slide successiva ne mostra la digitalizzazione. un pixel rappresenta quindi una regione dell'immagine e ha associato un solo valore di grigio. Ma è digitalizzato bene? Dipende dagli scopi della mia indagine.



### 3.2.1 Campionamento

Il sensore realizza un campionamento spaziale dell'immagine acquisita. La cella del sensore del telefono deve diventare più piccola perché devo tenere insieme i pixel, l'area sensibile diventa più piccola. Cosa vuol dire? Che perdo luce, prende più dettagli ma perde segnale. Quindi il mio sensore deve essere molto ma molto più sensibile.

Poco segnale = poco rumore.

Non sempre la risoluzione spaziale è un parametro che va massimizzato.

### 3.2.2 La risoluzione

È un concetto relativo.

Tre tipi:

- r. dell'apparecchiatura di acquisizione
- r. dell'apparecchiatura di resa
- r. di ripresa di una scena

### Aliasing e campionamento

Quando digitalizzo un'immagine, il campionamento in alto non è necessario. Due slide, una è un buon esempio di campionamento, la seconda no. Si va a creare un'immagine che prima non avevo. È il fenomeno di Aliasing. Slide successiva con definizione. Poi c'è una slide con l'esempio di immagine corrotta per il fenomeno di Aliasing, esempio della persiana.

Ci sono teoremi che legano cosa al mio campionamento.

Il nostro campionamento deve essere almeno la metà della più piccola cosa che vogliamo sia visibile. Parliamo del teorema di Shannon. Qualsiasi segnale deve essere la somma di diverse curve, per essere sicuri di prendere tutti i più piccoli campionamenti.

Slide orologio da tasca: immagine divisa in 1250 punti.

### Campionamento e tecnologia dei sensori

Slide risoluzione ottimale e tecnologia dei sensori.

Non va bene un sensore? Se ne cerca un altro.

### 3.2.3 Vari modi per rappresentare un'immagine

Slide con matrici.

Ci sono dimensioni più o meno standard.

Genericamente il più importante è il livello di quantizzazione. È il livello di grigio. È quasi sempre una potenza di due.

Es. slide della rosa: i pixel hanno sempre la stessa dimensione, ma cambia il numero di pixel. una 1024x1024 sarà grande e nitida, una 32x32 avrà grosse porzioni di immagine coperte da un solo pixel. Ovviamente se vado a prendere una piccola con pochi pixel es 32x32 e vado a ingrandirla, perdo dettagli e l'immagine uscirà molto molto sgranata. È la tecnica dietro all'oscuramento di volti alla tv. Ci sono algoritmi per simulare il recupero di definizione (visti alla magistrale), però sono una stima, una volta che l'informazione è persa è persa. È la slide di es. di elaborazione di basso livello, il lavoro che hanno fatto per la Canon, CNN con immagini di scimmia, farfalla, boh e bambino.

### 3.2.4 Quantizzazione

Quanti livelli di grigio servono?

La risoluzione di livelli di grigio è la più piccola differenza del livello di grigio è la più piccola che posso distinguere.

Slide con il tizio, i numeri sono il numero di livelli di grigio. Con la quantizzazione prendiamo un numero finito di valori nel range  $f(x, y)$ .

Esempio della stampante: fa quantizzazione, partendo da 4 colori ne seleziona i livelli per andare ad ottenere milioni di colori. La quantizzazione entra in campo quando diminuisco la dimensione dei dot nella visualizzazione puntinata dell'immagine.

#### Quantizzazione non uniforme

Slide. L'altra volta con la legge di Weber avevamo accennato alla quantizzazione, la discretizzazione dei livelli di grigio che non sempre opera su modelli lineari.

#### Tempo di acquisizione

Quando lo cambio cambio la quantità di luce che arriva al sensore. quando tengo un tempo troppo corto su immagine statica, l'immagine esce scura perché non entra abbastanza luce. Al contrario, quando è troppo alta va in saturazione e va a contaminare i pixel vicini (un po' quello che succedeva con

la Polaroid).

In caso dinamico ovviamente il tempo di esposizione deve essere diverso. Per esempio per un treno in corsa il tempo di acquisizione deve essere molto basso, ha bisogno di un sensore più sensibile così che bastino meno fotoni per generare il segnale.

### Range dinamico

Molto diverso dal numero di pixel (numero di livelli, che fa che è tipo un salame, ovvero non importa quante fette faccio ma quanto è lungo il salame), o dal numero di bit.

C'è la slide con la definizione che mi sono persa.

In base a quello che voglio prendere (esempio finestra in una stanza buia) cambia il range dinamico che devo prendere.

Come si risolve? con l'HDR dice Fabio? Mi serve che il sensore veda più luce nel buio e meno luce nella zona illuminata.

Cosa succede ? Negli scuri si vede più rumore, nelle zone troppo illuminate si satura.

## 3.3 Digitalizzazione immagini a colori

Per ogni pixel devo avere le 3 informazioni, per RGB. Per acquisire tutti e tre i canali potrei usare prismi. ma è complicato per molti motivi, tra cui un costo eccessivo per 3 sensori, oltre ad un'ottica troppo complicata. Come fa ad esempio un cellulare ad acquisire i colori per ogni singolo pixel? Ogni pixel può vedere un solo canale, poi vengono combinati. Riprendiamo il concetto di curva luminosa di efficienza. Il sensore acquisisce quello che si chiama un Bayer pattern, che viene interpolato.

### 3.3.1 Lo spazio colore RGB

Lo possiamo vedere come un cubo con i 3 colori sugli assi cartesiani, Dove saranno i grigi? Sulla diagonale che va dal punto nero (0, 0, 0) al punto bianco (255, 255, 255). Allontanandomi dalla diagonale dei grigi, vado verso le superfici del cubo che hanno i colori più saturi più carichi.

Come faccio ad editare i colori? Ruoto il cubo? Chiedi a Fabio.

Slide con l'immagine colorata da scomporre in bande, seguono le versioni grigie e nere per ogni canale. Quella che rappresenta il canale verde è grigia e non bianca dove c'era il verde semplicemente perché non è il verde massimo.

Le immagini digitali possono esser visualizzate o riprodotte su appositi dispositivi quali monitor, display, proiettori e stampanti.

Differenza fra visione additiva e sottrattiva. La visione umana è additiva, ma i colori primari che usiamo sono Red, Green e Blue, non rosso giallo e blu come ci hanno insegnato alle elementari. Il sistema RGB però è sottrattivo.

— **Inizio Piccola Digressione** —

Nella slide delle fasi dei Digital Image Fundamentals, l'editing rientra nella fase finale, mental world.

Parliamo di related e unrelated colours. Un esempio del secondo è che in una situazione di tutto buio il marrone si vede giallo, in luce si vede marrone, praticamente giallo scuro. Praticamente è il colore che vediamo in relazione ad un altro colore.

— **Fine Piccola Digressione** —

### 3.3.2 HUI Hetc ho perso

Ho perso la slide, quella con la definizione di HUI.

### 3.3.3 Memorizzare i colori

Slide con la matrice.

## 3.4 Compressione delle immagini

Standard più usato JPEG. Prima di fare una compressione, devo fare una trasformazione del colore.

Le singole bande vengono compresse per ridurre la ridondanza del segnale. Poi l'immagine viene decompressa e restituita. Il JPEG ha un fattore di immagine quality. Se andiamo ad aumentare il fattore di compressione, diventa più piccola l'immagine in fase di compressione ma in fase di decompressione sui bordi vanno a crearsi degli artefatti.

Ovviamente il JPEG introduce gli artefatti ma è possibile con metodi e tecniche precise rimuovere questi artefatti. Parliamo di restauro immagini compresse.

# Capitolo 4

## Operatori puntuali

Con gli argomenti di oggi cominciamo la vera e propria elaborazione delle immagini.

Questo venerdì altre due ore di lezione. La settimana prossima di venerdì si comincia con Laboratorio, molto utile per capire la teoria e dà punti extra se si consegnano le consegne.

### 4.1 Preprocessing delle immagini

Entra un'immagine, esce un'immagine. Es.: un'immagine negativa, o una a cui aumentiamo il contrasto. . .

Distinzione fra **restoration** (il mio dispositivo elettronico crea rumore, ha un'ottica che distorce l'immagine, io cerco di migliorare l'immagine) e **enhancement** (operazione di basso livello che come prodotto finale dà una migliore visione dell'immagine e che opera su scelte di metodi e/o parametri, spesso "trial and error").

Noi vedremo una serie di metodi con 1+ parametri che definiamo (perché sappiamo come opera l'operatore sull'immagine).

#### 4.1.1 Operatori sulle immagini

Per operare sulle immagini parliamo di **operatori**.

- o. **puntuali** operano solamente su pixel

- o. **locali** opera su quello che chiamiamo "intorno", il valore di ogni pixel è correlato al valore di quelli circostanti

L'intorno del pixel è spesso chiamato finestra o filtro:  $g(x, y) = T[f(x, y)]$

o. ?

### 4.1.2 Elaborazioni puntuali

Il risultato di un'e.p. *omogenea* dipende solo dal valore dei pixel ed è per tutti uguale. Es.: elenco sulla slide

### 4.1.3 E. locali

$T$  è un o. definito su un intorno di  $(x, y)$ , roba che ha cambiato slide

La trasformazione  $T$  è definita solo nel punto  $(x, y)$ , nella slide espressa graficamente. Cosa farà questa trasformazione?

$g(x, y) = T[f(x, y)] \rightarrow s = T(r)$  Possiamo scrivere ciò per gli o.p. Chiedi a Fabio. Nei valori intermedi maggiore informazione. Taglia le ombre, taglia le alte luci, stretcha i valori intermedi, ne dà il massimo possibile. Tipica delle macchine fotografiche. Ma abbiamo detto che la scala di grigio è relativa. Es.: quando definiamo le magliette dei vari tizi che seguono la lezione sono una in funzione dell'altra.

Ha mostrato una slide con 4 diverse immagini con 4 diverse scale di grigio, e 4 diversi istogrammi.

Mostra un'altra slide con 2 gruppi di 4 immagini con relativo istogramma di I/O. A noi appaiono diverse perché sono in funzione di ciò che c'è intorno. Per avere quello che appare, non devo necessariamente avere gli stessi valori.

L'immagine dei due grafici ha un grafico a destra che crea immagini binarie, rende tutti i colori bianchi o neri, rendendo tutti i colori prima di  $m$  neri e quelli dopo  $m$  bianchi, quindi 2 canali.

Grafico fig. 3.3: esempio di domande a barriera. Es.: quanto vale  $L-1$ ? 1, ma perché? Il logaritmo ha dominio  $[0, 1]$ , la potenza pure ci dice che vale 1. Questo ci dice che il grafico parla di una trasformazione tra 0 e 1. Ma quindi è un'immagine digitale? Non c'è modo che immagini digitali stiano fra 0 e 1, hanno valori discreti (Fabio?).

Quasi tutte le immagini digitali stanno su scale di grigio.

$L - 1$  è la notazione di Gonzales

Grafico colorato: soluzione.

### 4.1.4 Istogrammi

Strumento importante. Forniscono importanti informazioni sulle scale di grigio.

Somma dei bin = dimensione dell'immagine.

Se divido l'istogramma per l'area dell'immagine (estensione della curva). Cosa rappresenterà ogni bin? La stima della probabilità di avere quel valore nella mia immagine.

Due immagini possono avere lo stesso istogramma anche se hanno dimensioni diverse (proporzioni uguali), es. sono in scala.

Per questo anche è utile la normalizzazione tra  $[0, 1]$ , ci riconduciamo sempre ad un caso unico.

Slide successiva: 4 immagini geometriche, poi 5 immagini diverse con 3 canali (azzurro bianco e verde). Le 4 geometriche hanno tutte lo stesso istogramma, quelle 5 sotto pure, perché tengo conto solo dei colori e non della loro distribuzione.

#### DEFINIZIONE

L'istogramma dà una descrizione parziale della distribuzione dei livelli di grigio (o di colori) in un'immagine.

Mostra slide con un'immagine geometrica e un istogramma. Corrisponde? Abbastanza, ho due picchi uno più accentuato per il colore di sfondo e del buco, uno più limitato per il quadrato. è sfrangiata perché c'è rumore.

### 4.1.5 Contrasto e luminosità locale

Riprende il concetto di integrale come valore dell'area sottesa dalla curva in esame.

#### Luminosità

Luminosità media di un'immagine:

$$I_{(av)} =$$

Il numeratore mi dà la somma di tutti i livelli di grigio.

L'integrale a denominatore è l'area dell'immagine complessiva.

La frazione mi dà la media dei livelli di grigio.

#### Contrasto

Definibile come la differenza fra il valore massimo e minimo di un'immagine.

$$C = \frac{I_p - I_n}{I_n}$$

Di solito si dice che un'immagine è ben contrastata se sfrutta l'intero range di possibili valori. Nella slide dove dice ciò ci sono tre banconote: quale è quella meglio contrastata? Quella al centro perché usa tutti i livelli di grigio. Nelle tre immagini di Einstein cerchiamo di capire come possa essere l'istogramma: nella prima avrà un range di valori decisamente più compatto delle altre due, avendo un range di scala di grigi più ridotto. Man mano che aumento il contrasto, avrò un istogramma più ampio.

### Contrasto e luminosità sullo sfondo

Lo sfondo cambia tanto: influisce su Fabio?

## 4.2 Operatori puntuali lineari

Se facciamo una trasformazione, può capitare che alcune cose vadano fuori dal range. C'è un'op. detta di clipping, arrivi al valore massimo e poi ti fermi. Spesso il clipping non è reversibile. Es. ho un'immagine in scala di grigi, i grigi più chiari una volta raggiunto il massimo che è valore di bianco perfetto poi sono persi, perché si uniformano al bianco che c'era già e a riabbassare i livelli tutto il mio nuovo bianco torna grigino.  $P$  è un valore moltiplicativo, nel secondo diagramma moltiplicandolo agli estremi dell'intervallo  $[A, B]$  ottengo un nuovo intervallo che viene traslato verso destra. Per ottenere anche i valori a sinistra devo togliere a tutta  $L$  i valori di  $PA$ . Slide con radiografia luminosa e nera, in quella nera si vedono meglio i dettagli. Per questo è utile.

Slide con tre immagini, poco contrastate, scure ... Si vede dall'istogramma. Quella molto scura e poco contrastata ha un istogramma tendente verso gli scuri quindi a sinistra. Quella al centro ha un istogramma

Slide fig.3.8: l'istogramma  $c$  è decisamente della terza immagine perché ha meno livelli di grigio, la 1 e la 2 immagine facciamo molta fatica a distinguerle.

Slide fig.3.7: gli istogrammi corrispondono alle immagini, più contrasto più ampio l'istogramma.

Slide fig.3.11: ho due immagini, una molto nitida e una compressa con JPEG e quindi corrotta/rovinata/con rumore: l'istogramma della prima sarà molto ristretto, il secondo è più ricco ma perché JPEG ha rovinato l'immagine.

Due slide con immagini di una ragazza e relativo istogramma: l'immagine originale (1a immagine 1a slide) e quella a occhio indistinguibile avranno due istogrammi molto diversi, Fabio sa perché.



## 4.3

### 4.3.1 Es. di istogramma

Ho un'immagine (es. fig.3.24) decisamente sottoesposta. Come faccio a dirlo all'algoritmo che dovrebbe aggiustarla da solo?

Tornano utili concetti di statistica. La deviazione standard ci aiuta a capire quanto è "sparsa" la distribuzione dei valori di luminosità e contrasto. Queste cose sono descritte da **features**. Algoritmo tipo: if "media  $\mu$  o  $\sigma$  di" fai cose, elif "varianza  $\sigma^2$  o  $\mu$  di qualcos'altro" fai altro.

### 4.3.2 Proprietà degli istogrammi

I valori degli istogrammi sono i valori dei pixel. Se ho un'immagine troppo scura, gli dico "porta i valori scuri a" etc.

### 4.3.3 Concetto di stretch

Fig.4.4

Due slide, una gialla e rosa, una con formule.

Operativamente, sposto il minimo ( $P_{in} - G_{min}$ ), assegno il massimo, normalizzo i miei valori.

Altra slide, fig.4.6: taglio le code perché tipicamente sono rumore. Sotto c'è un esempio di eq. di 1 grado, non è sapere a memoria ma almeno capirla. Dobbiamo sviluppare la capacità di vedere un'equazione e capire cosa fa.

#### DEFINIZIONE

Lo stretching è una trasformazione lineare che espande in modo uniforme la dinamica originale dell'immagine, producendo un effetto globale di miglioramento del contrasto.

## 4.4 Operatori puntuali non lineari

### 4.4.1 Logaritmico

Parliamo di scaling logaritmico:

$$s = c \log(1 + r)$$

Due slide, la seconda è fig.3.5.

Prima di discretizzarla applico il logaritmo, così da poter Il primo esempio migliora la leggibilità dell'immagine (es. si vedono meglio le trame dei tessuti). Nel secondo caso migliora la leggibilità dell'immagine ma aumenta anche la visibilità del rumore.

Nell'esempio del ciclone invece si vede che il logaritmo non è una buona soluzione. Questo perché ho sbagliato la trasformazione.

#### 4.4.2 Gamma

La gamma correction verrà usato molto di più.

Fig.3.6: due slide, la seconda dice  $r_i 1$  e  $r_j 1$ , scrive quello che ha detto a parole.

Fig.3.8: la colonna vertebrale fratturata. La 1 è troppo scura, la 2 ancora un po' troppo scura, la 4 ha uno schiacciamento delle luci alte che fa perdere dettagli.

Fig.3.9: immagine aerea.

Slide con tizio e immagine di automobile: domanda di sbarramento. Che gamma abbiamo applicato?

Sopra gli scuri vengono espansi e i chiari compressi  $\rightarrow$  gamma  $> 1$ .

Sotto gli scuri vengono compressi e i chiari espansi  $\rightarrow$  gamma  $< 1$ .

Slide con 2 tizi: per entrambi gli incarnati sono più scuri, si espandono gli scuri(?) e quindi gamma  $> 1$ .

Due grafici con immagine più chiara e più scura. Noi stiamo incrementando gli operatori puntuali. Non ho capito la frase.

#### Gamma correction

C'è in moltissimi dispositivi, tipo nella nostra macchina fotografica viene applicata prima della visualizzazione.

Ocio: per un corretto processing andrebbe tolta la gamma correction.

Fg.3.7: immagine di una retina umana.

I dispositivi classici hanno delle gamme (fig.4.20) diverse in base alle condizioni di visualizzazione.

### 4.5 Modifiche del contrasto

3 slides.

Slide 3 grafici, sono in grado di trovare il valore di  $K$ ? Sì.

Servono tanti termini noti quante sono le equazioni.

3 grafici, l'istogramma verrà modificato con una polarizzazione: scuri abbattuti, quindi schiacciati verso la sinistra, chiari ?, quindi schiacciati verso destra.

Slide con 8 trasformazioni. Come faccio a provarle tutte con meno costo computazionale possibile? Risposta, LUT.

## 4.6 LUT - look-up table

Come faccio a trasformare un'immagine in scala di grigi in immagine a colori? Definizione slide con la tabella IN-OUT.

Utile per es per definire la temperatura, su una scala di colori: associo ad ogni livello di grigio una tripletta di valori di colori. È lo stesso modo con cui vengono create le gif, tramite una look-up table.

È facile cambiare i colori e creare animazioni: basta mostrare un colore, rendere tutto nero, l'istante successivo rifarlo senza scannerizzare di nuovo l'immagine.

Domanda in aula: Ma sarebbe meglio per ciascuno dei 256 valori di grigio vedere se è già stato calcolato e inserirlo altrimenti calcolarlo

## 4.7 Trasformazioni puntuali basate sull'istogramma

Definizione: slide

## 4.8 Operatori puntuali pt.2

Istogramma, strumento non perfetto ma utile per capire la distribuzione dei valori di un'immagine.

Un esempio di operazione **globale** che abbiamo già visto? Risposta: equalizzazione dell'istogramma. Abbiamo visto l'i. cumulativo: calcola la probabilità di avere fino ad un dato valore in ogni punto dell'immagine (funzione monotona crescente). Es.: probabilità di avere un valore  $j$  256? 1, ovunque.

### 4.8.1 Miglioramento locale

In quali casi un operatore funziona più di un altro? Nel caso dell'eq. dell'i., abbiamo visto che quando ci sono pochi colori e niente cose in mezzo, l'equalizzazione non funziona per niente bene (crea rumore, disturbo) slide

dell'edificio sotto all'arco di pietra. In una situazione di questo tipo o metto a posto i chiari oppure metto a posto gli scuri. Capita nell'elaborazione delle immagini, mettere a posto solo le cose che mi interessano. Es.: lastra ai polmoni, mi interessano i polmoni, non l'osso della spalla.

Come faccio a migliorare solo la parte che mi interessa? (slide Sagrada Familia)

L'equalizzazione globale ovviamente non funziona (l'i. cumulativo ha una grossa gobba), se mi limito all'istogramma cumulativo di una sezione la situazione migliora.

Ma se per es. nella slide della S.F. volessi migliorare anche il cielo? Parliamo dell'equalizzazione dell'istogramma locale.

Due approcci: *sliding window approach* e *tiling approach*. Nel primo prendo un pixel e miglio il suo valore. Nel secondo prendo un intorno e usando tutti i pixel dell'intorno miglio il pixel di partenza e a lui sostituisco il valore.

Il problema è che oltre ad avere un costo computazionale altissimo (intorni molto piccoli, per immagini con migliaia di pixel), se le finestre non si sovrappongono rischio che si creino artefatti.

Ma questa idea di equalizzazione locale la posso applicare alla gamma correction? Potenzialmente sì (ci sono gamma correction adattative, si vedono alla magistrale) ma il problema è trovare la gamma giusta. Serve un understanding dell'intorno. Come posso fare?

Abbiamo detto che  $\gamma_{\text{chiari}}$  chiaro,  $\gamma_{\text{scuro}}$  scuro. e l'intorno è chiaro, devo scurire. Se l'intorno è scuro, devo schiarire. Se un po' e un po' non ho capito mi spiegherà poi Fabio. L'idea quindi sostanzialmente è quella di **calcolare la gamma in funzione dell'intorno**.

Slide con filamento di tungsteno (fig.3.24). Si vede poco ma dietro ce n'è un secondo decisamente sotto esposto. L'immagine ha una parte ben contrastata e una male contrastata.

Ma come faccio a capire se sono in una regione dell'immagine più scura o più chiara? Guardo l'intorno del pixel, se ha valori più verso lo 0 (scuro) o verso il 255 (chiaro)?

Se prendo ad esempio una regione che è metà chiara e metà scura, quindi sono su un bordo, come faccio a capire se devo schiarire o scurire? Con la varianza: la media sulla finestra condiderata ci dà informazioni su quanto è luminoso un intorno, la varianza su quanto è contrastata. Domanda in aula: come mai varianza e non deviazione? Risposta, è una scelta dell'algoritmo.

Slide con i due filamenti, parla di local min ma non ho sentito.

La varianza cosa evidenzia? Le variazioni elevate di colori, quindi i bordi.

Slide con equazione:

- $E$  è la funzione
- $ms(x, y)$  è la media ( $m$ ) dell'intorno ( $s(x, y)$ )
- $k$  è ??? (non ho capito, senti Fabio)
- $\sigma$  è la deviazione dell'intorno, che deve avere una finestra di validità (non troppo scuro, non troppo chiaro)

Fig.3.25 contiene tre immagini, originale, media delle varianze, e ?

Ma il risultato finale va bene? Mica tantissimo, i bordi sono molto blurry, frastagliati, anche se la parte sotto del filamento dietro si vede meglio (ma non benissimo). Però non era la sua domanda, la domanda era sull'algoritmo. Risposta: ci sono troppe costanti da stimare. Come possiamo migliorare? Potremmo fare un algoritmo per stimare i parametri. Come? Entra in gioco machine learning.

Slide fig.3.27: immagine b, global equalization, c local equalization.

Ma siamo sicuri che per calcolare la varianza ho un costo computazionale minore dell'istogramma di equalizzazione?

# Capitolo 5

## Operazioni fra immagini

### 5.1 Slicing

Definizione di bit-plane.  
Bit-plane slicing.

Nell'elaborazione si parla di ROI, Region Of Interest.

Domanda: come faccio ad elaborare solamente una certa porzione di immagine (es. solo il volto di una persona)?

Un approccio plain sarebbe "if questa cosa prendi qui, else prendi là". Ma sulle immagini ovviamente non è efficientissimo.

I bit-plane sono immagini binarie. Sfruttiamo gli operatori binari, AND e OR.  
Slide 6.

Le slide 7 e 8 fanno un esempio di uso degli operatori binari per ottenere le ROI di nostro interesse.

### 5.2 Operazioni aritmetiche fra pixel

#### 5.2.1 Differenza

Slide 9, immagine all'istante  $t$  **meno** immagine originale = differenza, che se moltiplicata all'immagine all'istante  $t$  ci dà un'immagine di ciò che si è mosso (in questo esempio pedoni e macchina) e basta.

## 5.3 Media di una sequenza

Non ho capito se fa parte della parte prima, comunque slide 13.

All'inizio l'immagine mi risulta molto rumorosa (alto dx) poi diventa sempre più nitida finché vedo la galassia. Come mai? C'è ovviamente rumore, un segnale che si somma alle nostre immagini che ha media 0.

Riduciamo questo rumore mediando le varie immagini (slide 15-16).

Slide 14, recap di varianza e deviazione standard.

$$(\sigma^2)_f$$

è la varianza del segnale perfetto e vale 0. Slide 17, mostra gli istogrammi.

Slide 18, risultato finale.

Slide 20, cloning e combinazione di immagini, si fa alla magistrale.

# Capitolo 6

## Operatori locali

Abbiamo visto enhancing puntuale. Ora vediamo enhancing locale.

Da cosa deriva il rumore? Elettronica, interferenze di persone/oggetti, ma da cos'altro potremmo avere rumore? Dall'illuminazione. Es.: neon, potrebbe filtrare cosa? Non ci accorgiamo, ma l'immagine cambia. Risolviamo mediando  $n$  immagini. Slide 5.

Slide 6. Ma è sempre necessario ridurre il rumore? Se un'immagine si vede già bene? E come faccio su un'immagine singola?

Parliamo della Gioconda. Slide 7-8. Facciamo un esperimento. Mettiamo  $n$  volte un pattern randomico di rumore, cosa ci aspettiamo? Tante immagini rumorose. Però pattern casuali diversi influenzano l'immagine in modo diverso. Per dire, se sta sulla guancia no ma se finisce ad esempio sulla bocca sì.

Oppure nel caso di mammografia, se il rumore finisce su una zona non interessata dalle microcalcificazioni non ci interessa, ma in altre zone più mirate per la diagnosi non possono avere rumore.

Slide 9, anche l'AI ha problemi ad analizzare immagini rumorose. Es. della farfalla monarca che l'AI fatica a riconoscere quando vi viene sovrapposta un pattern di rumore.

### 6.0.1 Operazioni locali

#### Smoothing

Slide 10. Pixel: pelle o non pelle? Voglio che sia solo faccia: uso un face detector. Non voglio artefatti: sulla faccia voglio un filtro pesante, dove non sono sicura sia faccia uno leggero.



### 6.0.2 Tipi di rumore

Per noi è solo additivo, c'è il tipo ? che noi non vediamo.

### 6.0.3 Degradamento dell'immagine

Slide 11-12.

## 6.1 Rumore

Slide 13-14. Vediamo un fantoccio (si chiama così in radiologia): diversi sistemi di acquisizione generano diversi tipi di rumore. Diversi tipi di rumore hanno diverse distribuzioni statistiche riconoscibili dall'istogramma.

Ne trattiamo

### 6.1.1 R. gaussiano

Dipende da slide 15.

### 6.1.2 R. impulsivo

Nell'elettronica ad un certo punto il sensore va in saturazione e va a 0 (es. vecchi televisori quando andavano a neve).

### 6.1.3 Dove nasce il rumore

**rumore gaussiano** : roba slide Perché sensibile alla temperatura? Perché temperature alte creano energia, che influenza e crea rumore.

**rumore impulsivo** : roba slide

### 6.1.4 Stima del rumore

Come posso fare a stimare il rumore del mio dispositivo? Slide 18.

Vado a mettere un target, lo acquisisco, ne costruisco l'istogramma e in base a come è vedo che tipo di rumore è.

### 6.1.5 Il modello gaussiano

Slide 19.

### 6.1.6 Quantificare il rumore di acquisizione

Slide 21-22

## 6.2 Metriche oggettive

### 6.2.1 Quantificare la perdita di informazione/qualità

Slide 25

### 6.2.2 MSE

Slide 26

### 6.2.3 PSNR

Slide 26

### 6.2.4 confronto

Slide 27-28. Le due immagini hanno lo stesso MSE, ma la seconda ha un PSNR più ?.

## 6.3 Riduzione del rumore

### 6.3.1 Filtraggio

Slide 29, ne parleremo venerdì.

Parliamo anche di operatori e operazioni lineari e non lineari.

Ricordiamo che le nostre immagini sono matrici  $n \times n$ , avrò  $n \bullet n$  operazioni.

### 6.3.2 Filtri spaziali

Il filtraggio lineare su un'immagine  $f$  di dimensione  $M \times N$  si fa con una maschera di dimensione  $M \times N$ .

Domanda tipo barriera: questa maschera cosa fa? Le maschere devono sempre dare somma 1. Perché? Se vado su zona omogenea l'applicazione del filtro non altera il valore dei pixel.

L'immagine che ha rubato recentemente di cui parla nell'audio (la maschera che si sovrappone e pixel etc) è la slide 34.

### 6.3.3 Image restoration

Il rumore può modificare il segnale dell'immagine (es. immagine mediche) e continua ad essere un problema anche quando uno pensa di avere un sistema di apprendimento molto sofisticato (es. reti neurali).

#### Degrado dell'immagine

Il rumore che tratteremo noi sarà esclusivamente **additivo**, quasi sempre si considera a somma 0. Non è una gran semplificazione, capita effettivamente abbastanza presto che si compensino e davvero sia a somma 0.

Vedremo 2-3 tipi di rumore: slide 13-14.

#### gaussiano:

**impulsivo:** indipendentemente dal valore che c'è sotto, il pixel assume solo valori estremi, o 0 o 255 (es. tipo: la neve che si vede sul televisore quando non c'è segnale)

Capire quale tipo di rumore è, ci aiuta a capire quali strumenti sia meglio usare per rimuoverlo.

Questa parte si chiama **understanding**.

#### Degrado dell'immagine

Quando parliamo di un soggetto che analizziamo nella sua interezza, risenti inizio registrazione.

Slide 11-12.

Se abbiamo un'immagine non corrotta, se la sottraiamo all'immagine corrotta, otteniamo un'immagine che è solo rumore e che sarà o solo positivo o solo negativo.

#### Quantificare il rumore

##### Rumore dovuto ad elaborazioni

Lo zero che si è alzato (lo scuro era negativo, il chiaro era l'artefatto positivo) è la slide 23; il grigio più o meno medio sono le regioni che meno hanno sofferto. Gli artefatti li abbiamo anche se sull'immagine compiamo traslazioni

o altre operazioni. Es.: fotografiamo una targa e la raddrizziamo, l'immagine si degraderà sicuramente.

### Metriche oggettive

MSE e PSNR sono le metriche più usate. Slide 28: le due zone sembreranno uguali ma hanno rumori (?) diversi.

L'ultima volta siamo arrivati qui: slide 30.

## 6.4 Filtri spaziali

N.B.: applichiamo filtraggio per migliorare il segnale. Lineare: l'operazione è scomponibile. Ad es. per lavorare su un'immagine intesa come matrice posso lavorare solo su alcune righe, maggiore semplificazione computazionale.

Un filtro spaziale è formato da un intorno di pixel, e posso assumere che i pixel vicini più o meno appartengano all'oggetto, perlomeno posso almeno valutarlo insieme a questi pixel. Mi creano l'intorno.

Da un pov operativo, l'equazione è quella di slide 32 che riporterò in un altro momento.

Tenderemo ad usare maschere con valori interi e somma 1 e terremo fuori un fattore di normalizzazione.

Reti neurali convoluzionali (?): sono esattamente quello di cui stiamo parlando, prendono un intorno di pixel e fanno una convoluzione, applicano un filtro.

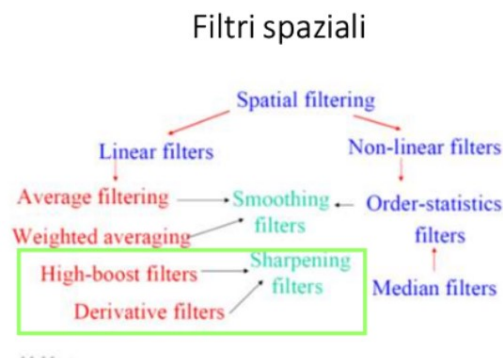
Slide 33 ha spiegato l'eq mi sono persa. Slide 34 ottima rappresentazione visiva.

Slide 35 e 36 parla di blurraggio, Fabio?

Fa un esempio, ho 5 pixel con relativo valore: 81, 82, 83, 84, 85. 82 fa media fra 81 e 83. 84 fa media fra 83 e 85. Ma che succede se cerco di stimare 85?

Non riesco. Diversi approcci:

- si aggiungono pixel sui contorni a valore costante (es. un intorno nero)
- si duplicano i pixel terminali (es. 85)
- boh



### 6.4.1 Correlazione e convoluzione

Sono legate.

Slide 38: parla di maschera simmetrica, non è una convoluzione ma una correlazione, però sono abbastanza vicini da essere scambiato (nelle reti neurali convoluzionali non è una vera convoluzione ma ).

Correlazione: prendo la maschera la applico e filtro. convoluzione: la maschera viene prima riflessa poi applicata. Cosa vuol dire che una maschera viene riflessa? Slide 39.

Slide 40: esempio di maschera riflessa. Ma ho sbagliato? Ci sono valori negativi. Può esserci una maschera riflessa con valori negativi? Sì. Può una maschera di filtraggio avere valori negativi? No.

Domanda barriera: questa maschera è di smoothing (riduzione rumore) o estrae i bordi (vedremo più avanti)?

La slide 41 è un esempio di maschera che estrae i bordi. Esempio di convoluzione.

La maschera può essere piena, vuota, fare cose... viene chiamata **kernel**. Slide 48.

Se la maschera ha solo 1 al centro è un'identità.

Se è di correlazione, un valore viene spostato. Se è di convoluzione, il valore viene portata dall'altra parte.

Slide 49: non mi interessa se correlazione o convoluzione: esempio di filtro di blur.

Non ci sto capendo un cazzo ma la slide 52 fa vedere con la media dell'intorno fa vedere come funziona quello sui bordi.

Slide 55: blur sulle immagini della tipa.

Slide 56: esempio di filtro di blurraggio sopra e illuminazione sotto, che mi crea effetto pellicola negativa.

## 6.5 Smoothing

Slide 57: definizione di smoothing da trascrivere. Slide 58 formula da trascrivere.

Ma le maschere devono essere sempre di dimensione quadrata? No. Noi le considereremo comunque sempre dispari in modo che siano il più simmetriche possibili. Fa l'esempio della maschera a croce 5x5 in basso al centro nella slide 58, che è una maschera di smoothing che fa "quando ci può tornare più utile"? Risposta: quando ho un'immagine con molti bordi. Quella a destra invece è circolare.

### 6.5.1 Gaussiana

#### Definizione

Slide 59.

#### Filtraggio

Sono numeri reali, la sapremo discretizzare? Due passaggi: campionamento (Leggerlo in modo discreto) e la quantizzazione (255 livelli di grigio, riportare solo a quei valori). Tante volte il filtraggio viene definito tramite sigma (slide 60). ma sigma? è la deviazione standard del rumore identificato dall'altra parte, io cerco di tenermi dentro il rumore.

data una cosa gaussiana, quale percentuale ho dentro intervallo di sigma? Es.: altezza delle persone  $\pm$  sigma. Avrò dentro tipo il 93% delle persone. La maschera gaussiana discretizzata 3x3 con i suoi valori che nomina nella registrazione è quella di slide 60, a destra.

Slide 61, a sinistra es di

Domanda a barriera: per avere un filtro gaussiano, che numero devo avere prima della matrice di destra?

#### Maschere di filtraggio

Slide 61

#### Smoothing gaussiano

Slide 62-72.

Una cosa che dobbiamo saper fare è prendere un'immagine e capire che filtro è stato applicato: qua (slide 65) un filtro di smoothing. Slide 66: anche lì sembra lo stesso filtro ma non siamo riusciti a togliere il rumore impulsivo.

Nella slide 67 uffa

Slide 68. I filtri di smoothing sono usati per il blurring di immagini e la riduzione del rumore.

Es. slide 68 vogliamo immagini di solo galassie grandi, come fo? Inizio a sfocare le cose piccole (immagine centrale). Poi creo un'immagine binaria (immagine a destra) prendendo solo oggetti con un certo valore. Riprendiamo il concetto di combinazione di immagini: se moltiplico la maschera binaria (img a destra) per l'immagine originale (img a sinistra) ottengo solo le galassie grandi.

Un'altra cosa su cui potremmo ragionare è: come definiamo quel 15x15 (didascalia sotto slide 68)? Se noi vogliamo che il rumore venga eliminato deve essere che quando è nella maschera la stella sia più piccola del resto. Il resto mediato deve stare sotto una soglia. Perché il rumore venga effettivamente tolto, deve essere decisamente più piccolo del segnale.

Slide 69: le due immagini hanno lo stesso istogramma? Sì. Se le medio? No.

L'immagine risulterà tutta grigia.

Parla di un'immagine 500x500, slide 71. Se la mia immagine contiene un segnale (rumore o boh) che sia più piccolo della parte rimanente, questo va a scomparire. Se vado a prendere un segnale sempre più grande, un preciso puntino va a scomparire. Stessa cosa, i quadratini vanno ad arrotondarsi (e così anche i bordi della "a"). Siamo sempre nella slide 71. Cosa succede fra le ultime due immagini? Cambiano le linee: è un fenomeno di **aliasing**: praticamente quando prima era sul nero, ora è chiaro, quando prima era sul chiaro, ora è nero.

### 6.5.2 Smoothing: vantaggi e svantaggi

Slide 72. Trascrivila perché contiene tutto quello che ha detto a voce.

Rumore impulsivo: abbiamo detto che è

### 6.5.3 Filtro mediano

Slide 73. Se c'è rumore, l'ho ignorato. Se faccio la media

Il mediano **non** introduce nuovi valori di grigio. Se prendo 0 e 127, il mediano sarà sempre 127 (elimino i pixel isolati). Il mediano *non* è un **operatore lineare**.

Anche qui la maschera può essere di qualsiasi dimensione e forma (solitamente un intorno quadrato o a croce), ma deve essere dispari.

Il filtro mediano riduce molto di più sfocando meno i bordi con il rumore di

tipo impulsivo (slide 76).

Immagine a livelli di grigio ma fatta a raggi-x: slide 78. Come funziona bene il filtro mediano (img a dx): dove vediamo gli artefatti? Un po' di rumore gaussiano (in alto) si vede, ci sono ancora un po' di pallini. Perché? Io dico che tolgo gli estremi del mediano, se ne ho 5 (dim della maschera) e sono tutti rumori, il risultato è ancora rumore. Se il rumore è pari alla maschera più uno, (ovvero è maggiore) non viene eliminato.

Come faccio a vedere cosa effettivamente è cambiato fra un mediano e l'altro se lo applico più volte? Slide 80.

Un esempio è il filtro di rango, che è un filtro che

#### 6.5.4 Media vs mediano

Slide 82. Il mediano conserva di più gli edge. Slide 83, esempio simile.

Slide 84: esempio di immagine originale, media e mediano, con rumore gaussiano.

Slide 85: esempio di immagine originale, media e mediano, con rumore impulsivo.

E se ho un'immagine con molto r. gaussiano e poco impulsivo? Applico filtro gaussiano.

E se ho un'immagine sia con rumore gaussiano che rumore impulsivo: cosa applico? Sicuro il mediano: agisce bene su rumore impulsivo e un po' anche su quello gaussiano, ma come faccio a filtrare al meglio dovendoli eliminare entrambi? In sequenza, prima il mediano e poi?

Parliamo di **filtri di rango**.

Quando ha senso prendere il massimo? Quando ho un'immagine con rumore gaussiano e voglio eliminare il rumore impulsivo.

Es. slide 88: ho rumore di tipo pepper, ma togliendolo (filtraggio min) si assottigliano i pin del circuito. come faccio a ristorarli? Applico il filtro di rango massimo.

#### 6.5.5 Mid point e Alpha Trimmer mean filter

slide

#### 6.5.6 Filtri con maschera rotante

Slide 94. L'idea è che vado a prendere il pixel centrale. un filtraggio ottimo è quello che prende i pixel più vicini, per filtrare meglio prendere quello con varianza inferiore. Vado a cercare l'intorno più omogeneo possibile e medio solo con quello.



Slide 95: il filtro con maschera rotante smussa le superfici ma crea degli edges.

Ha fatto vedere esempi di uno stage, e poi ci sono delle slide di altri esempi di filtri che il libro riporta ma che secondo lui sono un po' datati.

## 6.6 Esercizio

Vuole una foto (es. piazza duomo) senza pedoni o piccioni. Risposta: tante foto e le medio. Per esempio facendone un video e prendendone frame diversi.

## 6.7 Next time

Accennato nella slide 116 del pacco di slide di oggi.

Operatori locali derivati. Vedremo se un'immagine è sfocata come aumentarne la nitidezza: **sharpening**. Emuleremo quello che fa il nostro occhio con le bande di Mach.

Poi inizieremo la parte delle trasformazioni geometriche.

Fine parte grossa sulla elaborazione di base, poi inizieremo a parlare di colori.

# Capitolo 7

## Equalizzazione dell'istogramma

Tecnica di image enhancement che permette di migliorare il contrasto in un'immagine.

Sfrutta il concetto alla base del contrast stretching, ovvero che un'immagine con un range di intensità più ampio è più contrastata.

Altri due punti dalla prima slide.

Altra slide.

Tecnica un po' troppo usata perché non richiede la scelta di alcun parametro ma problematica perché crea artefatti.

Taaaaaanta roba matematica, copio e incollo le slide.

### 7.0.1 I. normalizzato

Rappresenta la frequenza di occupazione dei livelli ed è interpretata come stima della probabilità di avere un valore  $k$ .

Immagine e formula.

### 7.0.2 I. cumulativo

slide della luna

perché l'equalizzazione qua esce male? Noi vogliamo che lo sfondo nero rimanga nero ma l'equalizzazione cerca di usare tutto il range possibile e quindi tira su tantissimo rumore.

In generale l'equalizzazione su istogrammi con sezioni vuote darà sempre problemi perché creerà artefatti cercando di riempire i buchi con informazione che non c'è.

Se l'immagine è già ben bilanciata, è molto probabile che l'equalizzazione la rovini.

Utile per lavorare su un'immagine presa in condizioni di illuminazione diverse. Slides sulla Sagrada Familia. L'equalizzazione non migliora l'immagine complessivamente: è possibile definire la funzione di trasformazione sulla base di una sottoregione dell'immagine.

### 7.0.3 Equalizzazione totale e locale

Ma come faccio tipo a distinguere l'istogramma del cielo (picco stretto nella zona dei chiari) da quello della facciata (picco largo e più spalmato)? Ad esempio con la deviazione standard. Un'alternativa è usare un **operatore sliding window**: prendo una tile e l'equalizzo, prendo un'altra tile e l'equalizzo. Il risultato sarà pessimo. Meglio sarebbe prendere una tile e le sue vicine e equalizzarle tutte insieme e poi sostituirlo nella tile originale (**tiling**?).

# Capitolo 8

## Sharpening e Operatori derivativi

### 8.1 Filtri di sharpening

#### 8.1.1 Bande di Mach

Slide 3: L'intensità percepita non è in funzione solo dell'intensità luminosa.

##### DEFINIZIONE

Le bande di Mach sono regioni ad alta intensità uniforme. Il bordo fra le due regioni però appare più scuro nelle regioni scure e più chiaro nelle regioni chiare.

Perché? Perché il nostro occhio è più sensibile ai bordi. Boh lo dice CoPilot.

#### 8.1.2 Sharpening

Slide 5-6.

Se prendo due volte la mia immagine e tolgo l'immagine sfocata, cosa ottengo? Sto sottraendo i dettagli. Ottengo l'immagine originale più nitida: ho preso i dettagli che rispetto al mio segnale possono essere sia verso l'alto che verso il basso (slide 7 a sx) e ci ho applicato il filtro (slide 7 al centro), ho ottenuto l'immagine più nitida (slide 7 a dx).

Cos'ho concretamente fatto? Evidenziato i bordi (vero Fabio?). Slide 8-9.

Questi operatori sono gli operatori di **sharp**, l'opposto di quello che abbiamo

fatto finora, slide 10.

**Lo sharpening va fatto *dopo* aver tolto il rumore, che altrimenti verrebbe evidenziato.**

Slide 12: recap di quanto visto finora.

### 8.1.3 Filtri derivativi

Slide 15: applicare le derivate alle immagini.

Prima dicevamo di togliere il rumore impulsivo: in questo grafico sarebbe il "punto isolato", che come si può vedere ha un gran bel peso (negativo). Poiché i contorni delle immagini digitali sono generalmente rampe, si può concludere che la der prima produce edge piuttosto spessi, mentre la der seconda dà luogo a edge più sottili ma "doppi". Slide 16.

Slide 17, copiare.

### 8.1.4 Operatore Laplaciano

Slide 18.

#### DEFINIZIONE

Somma delle der parziali seconde non miste rispetto alle coordinate.

N.B.: non c'è una direzione nella laplaciana. Da tenere ben presente.

### Implementazione

Slide 19.

Il laplaciano può essere usato per migliorare un'immagine: applichiamo lo sharpening.

### 8.1.5 Sharpening mediante laplaciano

Slide 20.

Ma sapremmo fare questa operazione con una sola maschera? Se volessimo avere l'immagine identità? Appliciamo una maschera fatta tutti di 0 tranne che al centro che è 1.

Per migliorare l'immagine, basta sottrarre l'immagine originale con il Laplaciano. Siccome è lineare, slide 21.

Slide 22, maschera in basso a sinistra, possibile domanda di sbarramento: è una maschera di filtraggio? Non ho capito la rispostaaaaa è un laplaciano, ma un operatore derivativo. Non avremo mai un filtraggio con dei meno.

Slide 23: immagine della Luna con sfondo grigio pallinato.

Perché non ha lo sfondo nero ma grigio? Laplaciano scalato per poter essere visualizzato.

In alto ho un laplaciano non scalato, in basso scalato.

Perché lo devo scalare? Se da qualche parte sottraggo, da un'altra parte deve crescere. Ma quindi ho valori negativi che devo scalare perché possano essere visualizzabili. Quindi dove vedo nero era un valore negativo, dove è grigio era 0, e dove è bianco era ed è un valore positivo.

Alla lavagna ha disegnato il grafico in basso della slide 13, con i numeri -3 0 2 alla prima riga e 0 3 5 alla seconda.

Poi fa vedere il laplaciano delle immagini del pianeta, che figa io non ho nelle slide.

Riparte dalla slide 26: ha scalato quindi il laplaciano è più visibile e riusciamo a vedere le strutture.

Slide 28, immagine del tizio: fa vedere che succ se non togli **prima** il rumore prima di fare il laplaciano. è molto sensibile al rumore.

Slide 29 e 30 della tizia: cosa otteniamo sottraendo il filtro gaussiano dal filtro mediano?

### 8.1.6 Unsharp masking: high-boost filtering

Slide 31. Si svolge in due passi: si sottrae ad un'imm una sua versione smooth e quindi si somma il risultato all'imm originale. Slide 32.

Per fare tutto in uno, si fa cosa? Senti la registrazione. Se facciamo differenza che rimane? Rumore e dettagli. Ma di più *i bordi* piuttosto del rumore.

Ha fatto vedere un'immagine di un'altra presentazione di slides che mostra i vari passaggi. Ma era una presentazione della magistrale, not importante.

Poi è andato a prendere una slide di una vecchia presentazione in cui aveva parlato di rumore e regione omogenea (non la trovo). Ma come facciamo presa una r.o. a capire dove andare a vedere se c'è rumore? Come faccio a prendere una zona che sia abbastanza omogenea da non avere rumore? Vedo dove non ci sono bordi. E come faccio a capire che non ci sono bordi? Se il laplaciano mi dà una risposta abbastanza bassa ed omogenea, posso assumere che non ci siano bordi.

Abbiamo detto che prendiamo un laplaciano con fattore 1 (?), ma nessuno ha detto che dovesse essere davvero 1. A volte mi si formano delle regioni

(slide 33 con Einstein). Meglio andare a **pesarlo**, slide 34 (con bimba).

Ha parlato di  $\lambda$ ? slide 35 con il fattore di scala.

Poi passa a parlare di un'immagine di scritte, slide 37, per parlare dell'aumento di nitidezza. è la fig.3.40, che usa una unsharp mask (img c) prima di combinarne la differenza con altri filtri e mask (img e).

Sta facendo passare delle slide che non so dove ha preso con esempi dei processi di cui abbiamo parlato finora. Ha fatto vedere un esempio di blending di immagini, ottenuto usando una trasformazione di tipo piramidale. Noi nel nostro corso ne facciamo un uso di restauro dell'immagine.

## 8.2 Operatori Derivativi - gradiente

Slide 38.

Nella realtà abbiamo una distribuzione derivativa (?).

Nella slide 39 mostra in formule quanto visto finora. Possiamo usare il gradiente per esprimere quale pixel prendo in funzione di  $x$  e  $y$ .

Il gradiente è una matrice che boh senti la registrazione.

Slide 44 con i fiori. Perché è grigia? La derivata lungo la  $x$  e la  $y$  possono avere valori positivi o negativi.

Perché è nera? Il modulo va da val pos a val neg.

Il modulo del gradiente è maggiore di 0, il modulo del laplaciano è maggiore di 0, ma i valori vanno da pos a neg.

Dalla direzione vedo come è fatto il fiore, potrebbe questa cosa venire utile più avanti.

Slide 42, fig 3.44, con delle maschere, ma perché sono  $3 \times 3$ ? *Perché usiamo anche quelli sugli spigoli e non solo quelli sulla croce?* Così facendo facciamo anche *smoothing*.

Il gradiente di un'immagine è un campo vettoriale (slide 45): copia e senti registrazione.

Dove vado a stimare etc? Dove c'è basso gradiente. Basso gradiente = regione omogenea. Passaggio da una zona omogenea ad un'altra (ha fatto l'esempio del bordo di metallo dei tavolini alla superficie legnosa), il gradiente sarà *alto*.

### 8.2.1 Sharpening mediante filtri derivativi

La slide 46 fa un esempio di controllo qualità di una lente per dire. Possiamo usare il gradiente per mettere in evidenza eventuali problemi facilitando il controllo qualità.

Ha mostrato un esempio che aveva citato e che possiamo trovare sul libro (slide 47-48): body scanner di una persona, basso contrasto e alto rumore. Come facciamo a migliorare un'immagine con molto rumore e basso contrasto? Fig.3.46. Il laplaciano mette in evidenza organi e scheletro ma molto anche il rumore dello sfondo. cosa mette in evidenza un edge con sobel modulo? mette in evidenza gli edge, il passaggio fra osso e altro, quindi il bordo è abbastanza spesso. Cosa succede se lo blurro, se lo filtro con un filtro di media? Il rumore si attenuerà, ma gli edges si sfoccheranno allargandosi. Ma così facendo andrà a prendere altri materiali. Se ora prendo il laplaciano e lo moltiplico per la mappa degli edge, il laplaciano andrà a lavorare solo dove l'edge-detector ha evidenziato bordi, lasciando stare i bordi.

Quando parla dell'immagine a sinistra, sta facendo vedere le immagini degli scheletri, che sulle slide e sul libro sono etichettate con i vari passaggi: l'originale è a sinistra nella slide 48, originale con laplaciano a sinistra nella slide 49,

Libro pag 193 e 195.



# Capitolo 9

## Trasformazioni geometriche

### DEFINIZIONE

#### 9.0.1 Possibili problemi

Es. traslazione, slide 4. Potrei uscire dai bordi dell'immagine.

Es. rotazione, slide 5. Potrei perdere parti di immagine.

Es. traslazione fissa, slide 6. Potrei avere pixel sovrapposti o vuoti, ovvero alcune posizioni potrebbero non esistere.

#### 9.1 Scaling delle immagini

Trovo la locazione e ci assegno oggetti.

Slide 7.

#### 9.2 Zooming delle immagini

Duplicazione di pixel per la ricostruzione dell'immagine.

Slide 8.

Mostra la slide della rosa, di quando abbiamo detto prendo un'immagine la faccio piccola e poi la ingrandisco, non ho più l'immagine originale.

Slide 9.

### 9.3 Mapping diretto dei pixel

Ha letto la slide, Slide 10-11. Abbiamo lo stesso problema visto prima, ovvero che potremmo avere pixel vuoti o sovrapposti.

Slide 12: problemi mapping diretto, immagine con "buchi" di pixel.

Soluzione? In matlab c'è un modo, ma ha dato la risposta una ragazza e non ho sentito.

Noi invece senza matlab come facciamo? Partiamo dall'immagine target.

Slide 13-14.

Però ocio, potrei avere lo stesso problema di prima, ovvero non una soluzione intera (?).

#### Nearest neighbour interpolation

Slide 15.

Vado a prendere il più vicino, tecnica veloce ma produce immagini di qualità non elevata. Quando fa "andare qui, andare qui, o qui" ha disegnato 5 pixel alla lavagna, prima indica due a sinistra, poi due a destra e fa "allora ha senso fare media" e prende quello al centro.

#### 9.3.1 Primo passo soluzione

Slide 14.

#### 9.3.2 Secondo passo soluzione

Slide 15-16-17.

#### 9.3.3 Possibili soluzioni diverse e più sofisticate

Slide 18.

Prima interpolo x poi interpolo y e medio (giusto?). Il libro lo fa impostando un sistema di equazioni, ma non è il modo più intuitivo.

#### 9.3.4 Interpolazione con Mapping inverso dei pixel

è molto più sfumato. Di quanti punti ho bisogno per un'interpolazione lineare? Sulla linea 2, nel piano 4.

Slide 18.

### 9.3.5 Tipi di interpolazione

Fa "l'ho aggiunta ieri sera" e infatti non c'è.

#### Es. di interpolazione

Einstein, slide 19.

Quello sopra con enhancement è più facile da migliorare, quello sotto evidenzieremmo la squadrettatura.

Slide 20, interpolazione crea nuovi livelli di grigio.

Slide 21. Bilineare.?

## 9.4 Traslazioni geometriche

Abbiamo detto che noi non facciamo forward, ma reverse per non perdere pixel. Nella slide che non c'è, parla più formalmente di traslazione e scaling (noi usiamo la prima se no va a lucciole l'immagine).

Poi persa una slide.

Poi mostra translate e rotate e shear, che dovrebbe essere sghembatura in italiano.

Slide 22 le trasformazioni prese dal libro.

Metti che ho una targa storta da raddrizzare, ho i parametri da cui partire.

Uso una shear e una translation. Ma come fare più velocemente? Sono combinabili in un'unica matrice più trasformazioni? Sì, sfruttando il concetto di *coordinate omogenee*.

Slide 23.

Riscrivo ora la table di slide 22 in funzione di matrici, table 2.2 slide 24 e 25.

Usando le c.o. posso esprimere qualsiasi trasformazione lineare come combinazione di più matrici in una. Slide 26.

Slide 27 e 28 sono esempi di combinazioni di matrici su immagini.

Slide 29 animazione di dissolvenza che non parte. Allora ha cercato il video di Black or White per la parte di morphing dei volti.

Come farlo? Slide 29 e 30: applicabile anche ai visi se sono posizionati sufficientemente sovrapposti, ma devono coincidere alcuni punti fondamentali.

Slide 31. Come trovarli e matcharli è una cosa un po' complicata ma fattibile, slide 32.

Poi slide di esempi di metamorfosi volti fino allo "schettinizer" di slide 38.

# Capitolo 10

## Spazi colore