

POLITECNICO
MILANO 1863

Esercizio 4 Homework 2 - Laboratorio di elaborazione di bioimmagini

Autore: Francesco Benedetto 10663326

Anno Accademico 2024/2025

Indice

1 Introduzione	1
2 Metodo	2
2.1 Caricamento dell'immagine e miglioramento dei bordi	1
2.1.1 Caricamento dell'immagine . . .	1
2.1.2 Regolazione del contrasto . . .	2
2.1.3 Applicazione del filtro Laplaciano locale	2
2.1.4 Applicazione di un filtro High-Boost	2
2.2 Rilevamento dei bordi con maschere Sobel Compass	2
2.2.1 Definizione delle maschere Sobel Compass	3
2.2.2 Applicazione delle maschere Sobel Compass	3
2.2.3 Combinazione delle risposte . . .	3
2.3 Binarizzazione con Soglia Manuale . . .	3
2.4 Prima Pulizia	3
2.5 Eliminazione di Oggetti Indesiderati . .	4
2.6 Pulizia Intermedia	4
2.7 Quadrato "difficile"	5
2.7.1 Estrazione delle ROI	5
2.7.2 Rotazione della ROI e sostituzione	5
2.8 Pulizia Finale	6
3 Risultati	6
4 Conclusioni	6

1 Introduzione

L'obiettivo di questo esercizio è segmentare l'immagine fornita (`disk1.jpg`) per identificare i contorni dei quadrati racchiusi nel cerchio. La segmentazione è eseguita migliorando i bordi dell'immagine originale, applicando maschere Sobel direzionali anche chiamate *Compass masks* per rilevare i contorni e successivamente utilizzando tecniche di post-elaborazione, come *operatori morfologici*, per migliorare i risultati.

2 Metodo

L'approccio adottato nel codice è suddiviso in vari passaggi. Ogni passaggio ha lo scopo di preparare l'immagine per una corretta elaborazione e miglioramento. Di seguito sono descritti i passaggi fondamentali.

2.1 Caricamento dell'immagine e miglioramento dei bordi

Per affrontare il problema della segmentazione dei quadrati all'interno dei cerchi, il primo passo è stato il miglioramento dei bordi dell'immagine.

2.1.1 Caricamento dell'immagine

L'immagine di input, denominata `disk1.jpg`, è stata caricata e convertita in formato *double* per garantire la precisione nelle operazioni successive.

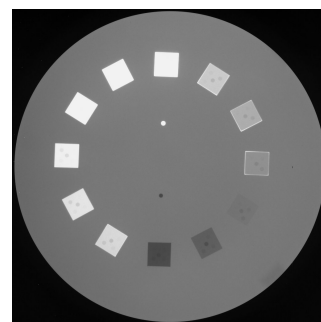


Figura 1: Immagine originale

2.1.2 Regolazione del contrasto

Per evidenziare meglio i dettagli, l'immagine è stata sottoposta a un'operazione di regolazione del contrasto utilizzando la funzione `imadjust`. Questo passaggio è fondamentale per migliorare la distinzione tra le aree di interesse (bordi) e il fondo.

2.1.3 Applicazione del filtro Laplaciano locale

Per migliorare ulteriormente i bordi, è stato utilizzato un filtro Laplaciano locale (`locallapfilt`), configurato con i seguenti parametri:

- **Sigma (σ):** È stato scelto un valore basso (< 1 , precisamente 0.4) per mettere in evidenza bordi fini e dettagliati. Valori maggiori avrebbero rischiato di sfumare i dettagli di interesse.
- **Alpha (α):** È stato impostato un valore moderatamente alto (0.8) per enfatizzare i bordi senza compromettere l'integrità dell'immagine. Valori più elevati avrebbero prodotto un'immagine eccessivamente contrastata, con bordi fittizi che avrebbero reso difficile la segmentazione.

Prima di applicare il filtro, l'immagine è stata convertita temporaneamente in formato `uint8`, poiché richiesto dalla funzione. Successivamente, il risultato è stato riconvertito in `double` per mantenere la coerenza nei passaggi successivi. Questo filtro è particolarmente adatto per migliorare i bordi e i dettagli di immagini che presentano strutture sottili e definite, come nel caso dei quadrati nei cerchi.

2.1.4 Applicazione di un filtro High-Boost

Per enfatizzare ulteriormente i bordi, è stato applicato un filtro High-Boost rappresentato dalla matrice:

$$\text{High-Boost Filter} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 3 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

La scelta di un valore centrale (3) diverso da 8 consente di ottenere un'enfasi delle *alte frequenze* mantenendo comunque una discreta porzione delle *basse frequenze*. Inoltre essendo un valore inferiore a 8 si ha un effetto visivo simile a un negativo dell'immagine originale. Questo pare migliorare il contrasto (almeno visivamente) dei bordi rispetto al resto dell'immagine, rendendo i dettagli più evidenti.

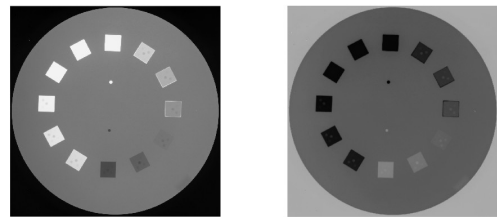


Figura 2: Immagine iniziale a sinistra e immagine post High Frequencies Emphasis a destra

N.B. Sono state provate altre combinazioni di tecniche per enfatizzare le alte frequenze (come la costruzione di un filtro ad hoc mediante `fsamp2` o equalizzazione etc.) ma il tradeoff tra enfasi dei bordi e rumore aggiunto (bordi fittizi) non era favorevole. Per questo motivo si è deciso di utilizzare un approccio meno forte e più conservativo.

2.2 Rilevamento dei bordi con maschere Sobel Compass

Dopo il miglioramento dei bordi dell'immagine, il passo successivo è stato il rilevamento dei bordi in diverse direzioni mediante l'uso di maschere *Sobel Compass*. Questo approccio consente di identificare bordi orientati in otto direzioni distinte, garantendo un'analisi completa delle caratteristiche dell'immagine.

2.2.1 Definizione delle maschere Sobel Compass

Le otto maschere Sobel Compass sono state definite per rilevare i bordi nelle seguenti direzioni: Nord (N), Nord-Est (NE), Est (E), Sud-Est (SE), Sud (S), Sud-Ovest (SW), Ovest (W) e Nord-Ovest (NW). Di seguito due esempi di maschere:

$$\text{N: } \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad \text{NE: } \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

2.2.2 Applicazione delle maschere Sobel Compass

Le maschere sono state applicate all'immagine enfatizzata mediante convoluzione (`imfilter`), generando una serie di risposte per ciascuna direzione. Questo passaggio ha prodotto otto immagini, ognuna delle quali evidenzia i bordi orientati secondo una specifica direzione. La scelta di utilizzare tutte e otto le direzioni garantisce che i bordi vengano rilevati indipendentemente dal loro orientamento.

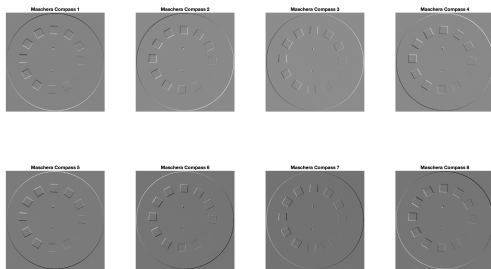


Figura 3: Risposte singole di ogni *Compass mask*

2.2.3 Combinazione delle risposte

Per ottenere una mappa di bordi combinata che evidenzi i bordi rilevati in tutte le direzioni, è stata calcolata la somma assoluta delle risposte. Questo approccio consente di amplificare i bordi effettivi e ridurre l'effetto di rumore o variazioni minime presenti nelle risposte individuali.

$$\text{sobel_combined_response} = \sum_{i=1}^8 |\text{response_images}_i|$$

2.3 Binarizzazione con Soglia Manuale

Dopo aver combinato le risposte delle maschere Sobel Compass in una mappa unica dei bordi, è stata applicata una binarizzazione per evidenziare le aree di interesse. La scelta della soglia è stata fatta manualmente, con un valore molto basso, per garantire che anche i bordi meno evidenti, come quello del quadrato in basso a destra con poco contrasto, venissero rilevati. Tuttavia, questa scelta porta inevitabilmente all'introduzione di un maggiore rumore nell'immagine binarizzata.

La binarizzazione è stata eseguita come segue:

$$\text{binary_edges}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } \text{sobel_combined_response}(x, y) > 1, \\ 0 & \text{altrimenti.} \end{cases} \quad (1)$$

Il valore della soglia è stato scelto dopo un'analisi visiva dei risultati della combinazione dei bordi, per assicurare che tutti i contorni dei quadrati fossero inclusi nel risultato finale.

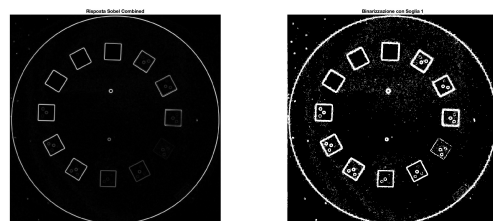


Figura 4: Risposta della combinazione di tutte le *Compass masks* a sinistra e immagine post binarizzazione a destra

2.4 Prima Pulizia

La prima operazione di pulizia consiste nella rimozione dei piccoli oggetti di rumore, utilizzando la funzione

`bwareaopen` che elimina gli oggetti con un'area inferiore a 17 pixel. Il valore scelto è il giusto compromesso tra mantenere i bordi del già frammentato quadrato "difficile" e lasciare come rumore principale solo i piccoli cerchietti. Grazie a questa prima pulizia i cerchietti non saranno più collegati tra loro oppure ai quadrati che li contengono. In questo modo potranno essere etichettati come oggetti ("indesiderati") singoli e successivamente eliminati.

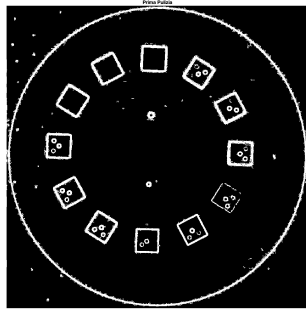


Figura 5: Prima Pulizia

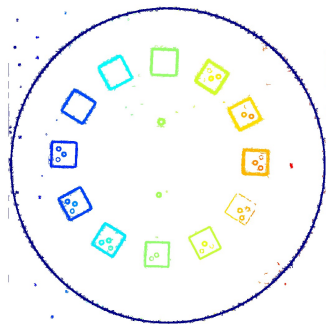


Figura 6: Oggetti Etichettati

per l'oggetto questi criteri sono soddisfatti, esso viene aggiunto alla maschera degli oggetti indesiderati.

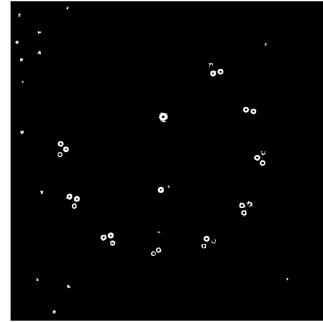


Figura 7: Cerchietti Indesiderati

Dopo aver identificato le parti da eliminare, alla maschera post *prima pulizia* è stata sottratta quella degli oggetti indesiderati.

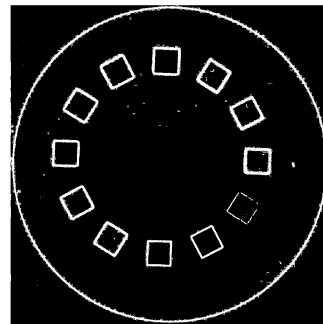


Figura 8: Maschera binari senza "oggetti indesiderati"

2.5 Eliminazione di Oggetti Indesiderati

In questa sezione, si procede all'eliminazione degli oggetti indesiderati, tra cui i cerchietti sopra citati, che sono ancora presenti dopo la pulizia. Per fare ciò, si analizzano l'area e l'eccentricità. L'eccentricità inferiore a 1 è utilizzata per identificare oggetti simili a cerchi (poiché 0 è un cerchio perfetto e 1 è un'ellisse degenera). Il ciclo `for` itera su tutte le regioni etichettate e, per ogni regione, verifica che l'area sia compresa tra 25 e 2000 e che l'eccentricità sia inferiore a 0.8. Se

2.6 Pulizia Intermedia

Successivamente è stata applicata un'erosione sulla maschera binaria per rimuovere ulteriori piccole imperfezioni residue. La visualizzazione dell'immagine post-erosione è mostrata di seguito:

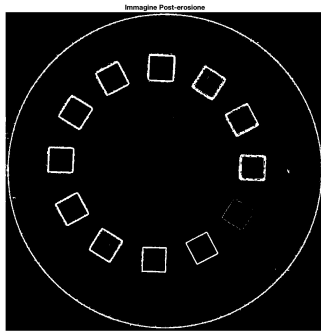


Figura 9: Immagine Post-erosione

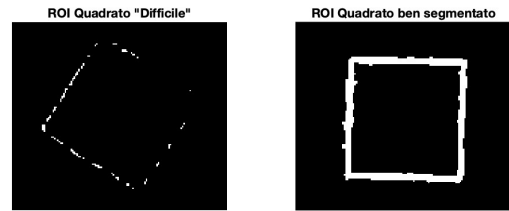


Figura 10: ROI Quadrato "Difficile" e ROI Quadrato Ben Segmentato

2.7 Quadrato "difficile"

Riuscire a segmentare nel migliore dei modi il quadrato in basso a destra è stata una sfida non semplice. Dopo aver tentato diverse operazioni "teoriche" come ad esempio la trasformata di Hough (prendendo le linee a 60 e 150 gradi) oppure enhancing differenti nella prima parte, si è deciso di utilizzare un "trick". Poiché ci sono 12 quadrati equidistanziati tra loro, coprendo 360 gradi, significa che ogni quadrato è ruotato rispetto all'altro di 30 gradi. Perciò, è stato scelto di sostituire il quadrato "difficile" con un quadrato ben segmentato, cercando di centrare al meglio le ROI (Region Of Interest) utilizzate.

2.7.1 Estrazione delle ROI

Sono state estratte due Region Of Interest (ROI). La prima ROI è relativa al quadrato "difficile" che si trova attorno alla riga 590 e alla colonna 676, con altezza 124 pixel e larghezza 142 pixel. La seconda ROI è un quadrato (quello in basso al centro) ben segmentato, che si trova alle coordinate di partenza riga 732 e colonna 405, con le stesse dimensioni (124x142 pixel).

2.7.2 Rotazione della ROI e sostituzione

La seconda ROI (quadrato ben segmentato) viene successivamente ruotata di 60 gradi, poiché ogni quadrato è ruotato di 30 gradi rispetto agli altri (in questo caso, il quadrato viene ruotato due volte per raggiungere i 60 gradi). La funzione `imrotate` viene utilizzata per la rotazione, con interpolazione nearest neighbor e crop per mantenere le stesse dimensioni della ROI originale. La binarizzazione è effettuata per garantire che i valori siano binari (0 o 1).

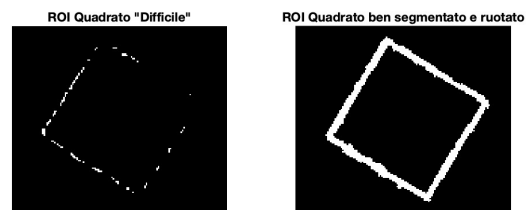


Figura 11: ROI Quadrato "Difficile" e ROI Ruotata

La regione dell'immagine binaria originale che corrisponde alla ROI "difficile" è stata poi sostituita con la ROI ruotata avente le stesse dimensioni.

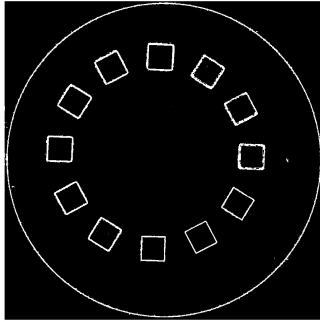


Figura 12: Immagine Elaborata

2.8 Pulizia Finale

In questa fase finale, sono stati nuovamente etichettati gli oggetti nell'immagine binaria calcolando l'area di ognuno. In questo modo è stato possibile isolare i quadrati mediante uno specifico range di area) e rimuovere il cerchio grande e le ultime sporcizie.

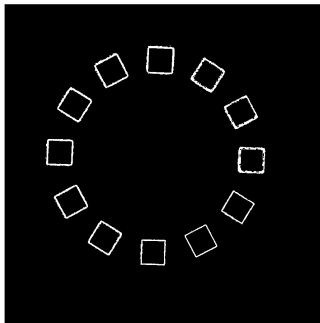


Figura 13: Quadrati isolati

Per migliorare la qualità della segmentazione e ottenere bordi più sottili, sono state applicate alcune operazioni morfologiche finali all'immagine binaria. In particolare, sono stati eseguiti i seguenti passaggi:

- *dilatazione*, per ridurre la presenza di bordi spuri (causati dal successivo thinning) e ottenere un'immagine più uniforme
- *thinning*, per ottenere bordi più sottili e continui
- *spur* che elimina piccole "escrescenze" non desiderate

L'immagine finale, dopo l'applicazione di tutte le operazioni morfologiche, mostra i bordi sottili e privi di spurie.

3 Risultati

Il risultato finale a seguito dell'intera elaborazione è il seguente

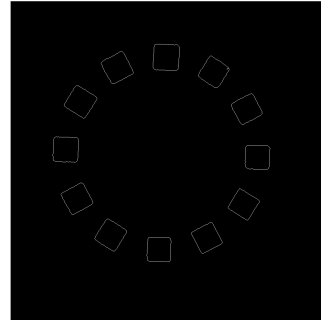


Figura 14: Immagine Binaria Finale con Bordi Sottili

4 Conclusioni

L'approccio descritto ha permesso di ottenere una segmentazione efficace dei quadrati racchiusi nel cerchio nell'immagine disk1.jpg. Attraverso il miglioramento dei bordi mediante *High frequencies emphasis*, l'applicazione delle maschere Sobel Compass per il rilevamento dei contorni e tecniche di post-elaborazione come l'erosione e il thinning, è stato possibile ottenere un'immagine finale con bordi sottili e ben definiti. La gestione del quadrato "difficile" è stata risolta mediante l'estrazione e rotazione delle ROI, garantendo così una segmentazione precisa nonostante la complessità.