

*Consiglio Nazionale delle Ricerche*

**ISTITUTO DI ELABORAZIONE  
DELLA INFORMAZIONE**

**PISA**

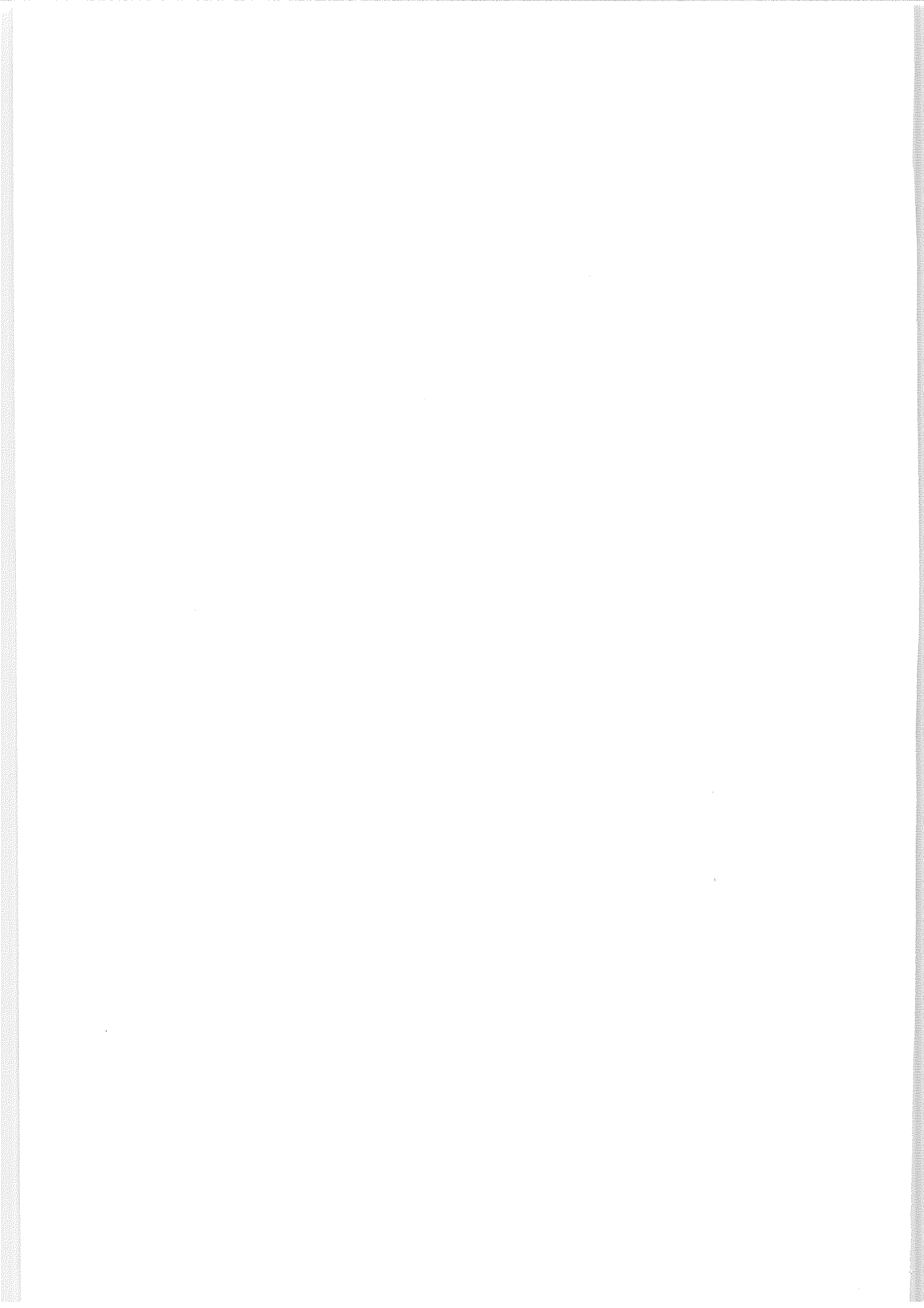
**ALGORITMI DI PRE-ELABORAZIONE PER IMMAGINI  
OFTALMOLOGICHE**

**L. Azzarelli, M. Chimenti, L. Poli, O. Salvetti**

**Nota Interna B4-11  
Marzo 1986**

## INDICE

1 - Introduzione.....	pag. 2
2 - Teoria sugli algoritmi.....	pag. 4
3 - Descrizione dei programmi.....	pag. 19
 Bibliografia.....	pag. 43



## Introduzione

In questa nota e' descritto un insieme di programmi che vanno ad arricchire la "Base della Conoscenza" di un Sistema Esperto dedicato alla elaborazione di immagini mediche.

Tale progetto, in fase di sviluppo presso l'I.E.I. del C.N.R. di Pisa, aiuterà il medico specialista nell'analisi oggettiva di immagini e nella diagnosi di patologie specifiche.

Le procedure descritte nel seguito sono rivolte alla analisi di immagini oftalmologiche, ed in particolare alla fase di Pre-elaborazione. Tale fase ha lo scopo di migliorare la qualità delle immagini, permettendo così una più automatica, veloce e precisa fase di Classificazione ed estrazione di caratteristiche.

La nota e' articolata in due parti: la prima fornisce una giustificazione teorica delle scelte fatte per la

realizzazione degli algoritmi; la seconda e' una descrizione particolareggiata dei vari moduli realizzati.

## 2 - Teoria sugli algoritmi

Le metodologie studiate riguardano principalmente la correzione delle disuniformita' di illuminazione di immagini del fundus oculare; questo e' forse l'aspetto piu' importante della fase di Pre-elaborazione. E' noto infatti, che la ripresa fotografica mediante l'impiego di un flash elettronico produce una immagine le cui caratteristiche luminose sono parzialmente alterate; questo perche' l'oggetto ripreso non viene illuminato uniformemente.

Le tecniche di correzione studiate e realizzate sono due:

- interpolazione polinomiale;
- interpolazione planare.

Per effettuare la correzione, si suppone che sia:

$$f(x,y) = l(x,y) \otimes h(x,y)$$

dove:

- $f(x,y)$  e' la funzione immagine da correggere;

- $h(x,y)$  e' la componente ad alta frequenza dell'immagine (informazioni relative a vasi e rumore);
- $l(x,y)$  e' la componente a bassa frequenza (disuniformita' di illuminamento);
- $\bullet$  e' un operatore, tipicamente di somma o moltiplicazione.

La correzione apportata, che si fonda su considerazioni matematico-geometriche, tende ad operare sulla funzione  $l(x,y)$ , modificandola per eliminare le distorsioni, ed a lasciare inalterata la componente  $h(x,y)$ . In particolare si approssima la componente  $l(x,y)$  con una funzione di correzione  $l_c(x,y)$ ; tale funzione viene quindi "eliminata" dalla funzione immagine  $f(x,y)$ , in modo tale da ottenere solo quella componente che ci interessa, cioe' la  $h(x,y)$ .

I metodi sviluppati, pur adottando tecniche di approssimazione ai Minimi Quadrati, differiscono nella scelta della funzione di correzione utilizzata.

## Metodo di Interpolazione Polinomiale

Questo metodo utilizza per la correzione una funzione del tipo

$$p(x,y) = \sum_{n,s} a_{ns} X^n Y^s$$

cioè una superficie polinomiale di approssimazione.

L'implementazione dell'algoritmo è divisa in due passi:

- 1) correzione sulle righe della matrice immagine;
- 2) correzione sulle colonne della matrice ottenuta al passo 1.

Relativamente al passo 1, la correzione è apportata sequenzialmente sulla funzione  $f(x,y)$ ,  $i=1, \dots, N$  (con  $N$  numero delle righe), risultante dalla intersezione della funzione  $f(x,y)$  con il piano di equazione  $y=y_i$ .

Si cerca un polinomio  $p(x)$  nella famiglia

$P(x) = \{ p_j(x) / j = 1, \dots, M \}$ , dove  $j$  è il grado del polinomio, che interpoli la funzione  $f(x,y_i)$  con scarto

quadratico medio minimo. Le caratteristiche di illuminamento permettono di considerare un  $M$  sufficientemente piccolo.

$\forall j$ , con  $j = 1, \dots, M$ , si definisce la funzione nelle variabili  $a_0, \dots, a_j$ ,  $F_j = \sum_{x_r} [p_j(x_r) - f(x_r, y_i)]^2$ . Tale funzione rappresenta lo scarto quadratico che si commette approssimando, sui punti  $x_r$ , la funzione  $f(x, y_i)$  con il polinomio  $p_j(x)$ .

Minimizzare tale funzione significa semplicemente imporre la condizione di stazionarietà, data dal sistema:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F_j}{\partial a_0} = 0 \\ \vdots \\ \frac{\partial F_j}{\partial a_j} = 0 \end{array} \right.$$

Risolvendo questo sistema in  $(j+1)$  equazioni e  $(j+1)$  incognite ottengo il vettore dei coefficienti del polinomio di grado  $j$  che meglio approssima la funzione immagine su quei punti:

$$A^T = (a_0, \dots, a_j).$$

Al termine della procedura, ripetuta M volte, scelgo per la correzione della riga quel polinomio  $p_k(x)$  che ha dato scarto quadratico medio minimo.

La correzione viene effettuata nel seguente modo:

$$f(x,y) = f(x,y) \circledast p_k(x).$$

$\circledast$  = operatore dipendente da  $\circ$ , tipicamente differenza o divisione

Effettuato questo tipo di correzione su ogni riga, la matrice ottenuta viene corretta in modo analogo sulle colonne.

Al termine della procedura globale, l'immagine originale risulta corretta dalla deformazione iniziale e presenta un fondo sufficientemente omogeneo (Fig. 2.1, 2.2).

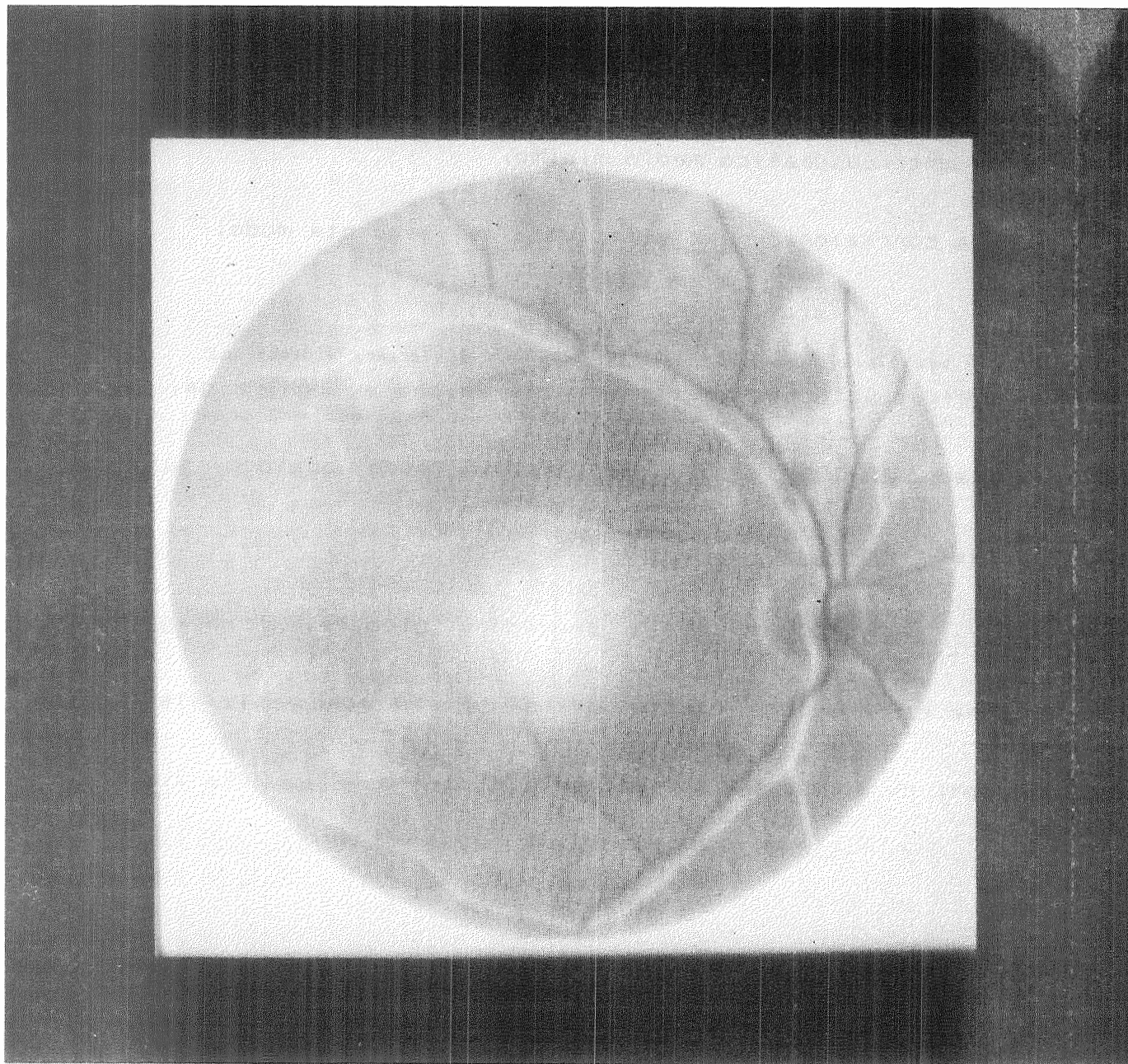


Fig. 2.1 - Immagine originale, in cui e' evidente una deformazione dovuta a disuniformita' di illuminamento.

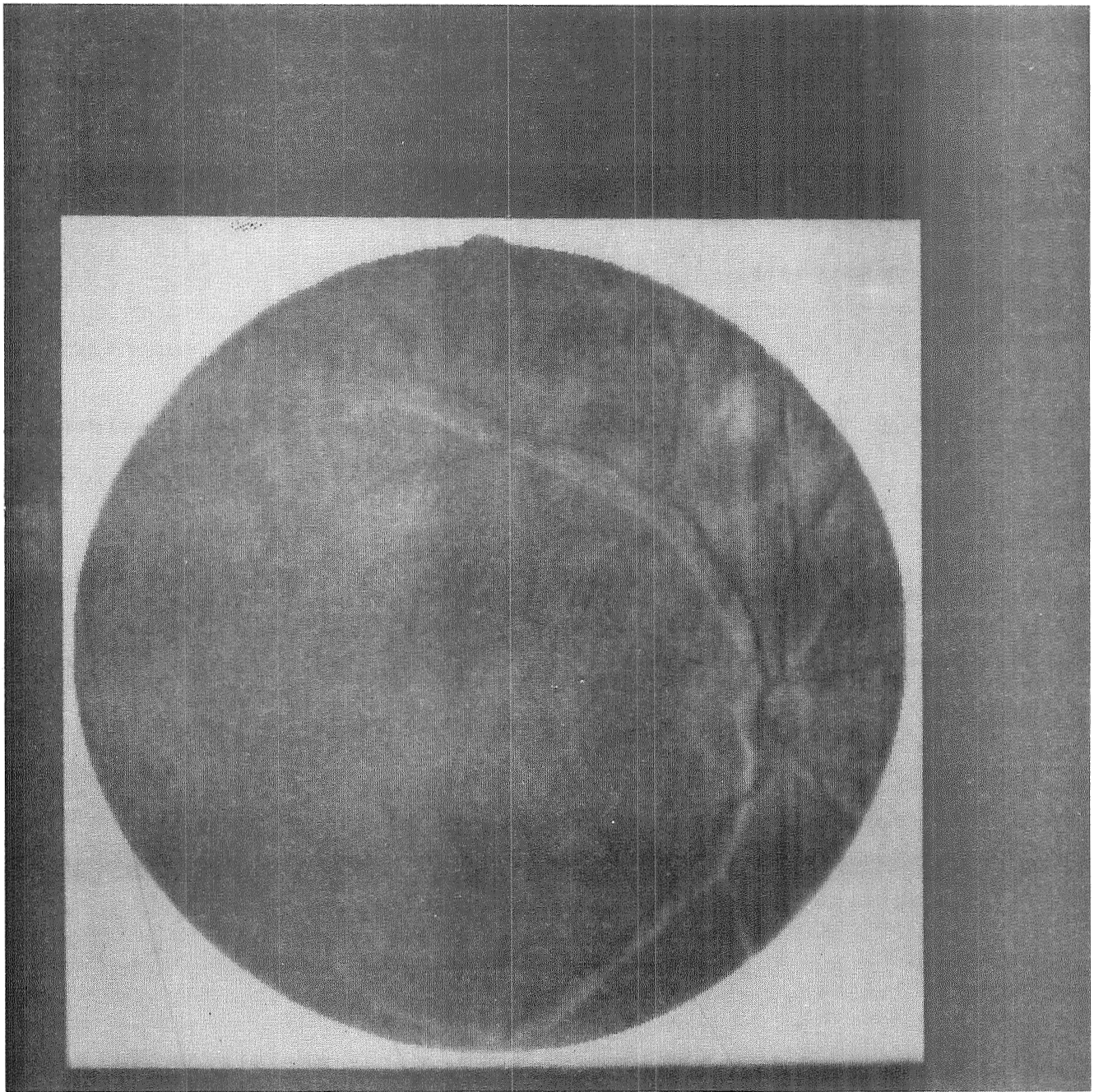


Fig. 2.2 - Immagine corretta con il metodo di interpolazione polinomiale.

## Metodo di Interpolazione Planare

In questo caso si effettua la correzione considerando la funzione immagine come una superficie nello spazio tridimensionale.

Il metodo consiste nell'approssimare tale superficie con un reticolo regolare a maglia piana. Si considera l'immagine suddivisa in sottoregioni  $R_i$ , e per ognuna di tali sottoregioni si individua il piano di equazione  $z=ax+by+c$  che approssima la funzione  $f(x,y)$  con il minimo errore.

In particolare, per ogni  $R_i$  si definisce la funzione nelle variabili  $a, b, c$

$$F_i = \sum_{R_i} [ax+by+c - f(x,y)]^2.$$

Per determinare i valori di  $a, b, c$  che minimizzano questa funzione (Errore quadratico), si risolve il sistema di tre equazioni in tre incognite

$$\begin{cases} a \sum_{R_i} x^2 + b \sum_{R_i} xy + c \sum_{R_i} x = A_i \\ a \sum_{R_i} xy + b \sum_{R_i} y^2 + c \sum_{R_i} y = B_i \\ a \sum_{R_i} x + b \sum_{R_i} y + c R_i = Z_i \end{cases}$$

Una volta determinati i coefficienti del polinomio di approssimazione desiderato,  $z_{R_i}(x,y)$ , si corregge la funzione immagine nel seguente modo:

$$\bar{f}_{R_i}(x,y) = f_{R_i}(x,y) - z_{R_i}(x,y).$$

La funzione  $\bar{f}(x,y)$ , ottenuta dopo aver effettuato la correzione su tutte le sottoregioni in cui e' stata suddivisa l'immagine, presenta una mosaicatura di tessere dovuta alla discontinuita' di luminositaa' provocata da questo tipo di correzione ai bordi di ogni zona  $R_i$ .

Per questo motivo, i parametri importanti per una buona correzione sono: la dimensione delle sottoregioni considerate ed il passo di scansione (per righe e colonne) con cui ci muoviamo su tutta l'immagine.

#### Modello di Enhancement

Lo scopo di questo processo di elaborazione e' quello di esaltare le caratteristiche della rete vascolare retinica, cioe' di incrementare il contrasto dell'immagine

differenziando così in modo più netto l'informazione "vaso" da quella "fondo".

Il modello è caratterizzato da un procedimento adattivo, esso infatti non applica una legge di manipolazione generale, ma opera in dipendenza dalla particolare sottoregione (dell'immagine) considerata.

Il primo passo del modello consiste nell'effettuare una media mobile sull'immagine di partenza, operando così un filtraggio passa-basso che ne elimina le componenti ad alta frequenza (contorni o rumore). Le dimensioni della finestra di smoothing dipendono strettamente dal particolare tipo di immagine; nel nostro caso specifico dalle dimensioni dei vasi retinici (per ottenere un filtraggio significativo si devono utilizzare finestre con dimensioni maggiori a quelle dei vasi).

Come risultato di questo primo passo otteniamo una funzione,  $f_L(x,y)$ , che ci fornisce una mappa della luminosita` media locale della immagine in esame.

Il secondo passo del modello consiste nel sottrarre l'immagine filtrata da quella originale, in modo tale da accentuare il contrasto fra informazioni significative e fondo. Questi primi due passi corrispondono quindi ad un filtraggio passa-alto.

A questo punto si possono verificare due situazioni:

- 1) la funzione  $f_M(x,y)$  ottenuta e` abbastanza contrastata da poter essere sottoposta alla fase di classificazione (Fig. 2.3, 2.4);
- 2) l'immagine ottenuta non e` ancora soddisfacente.

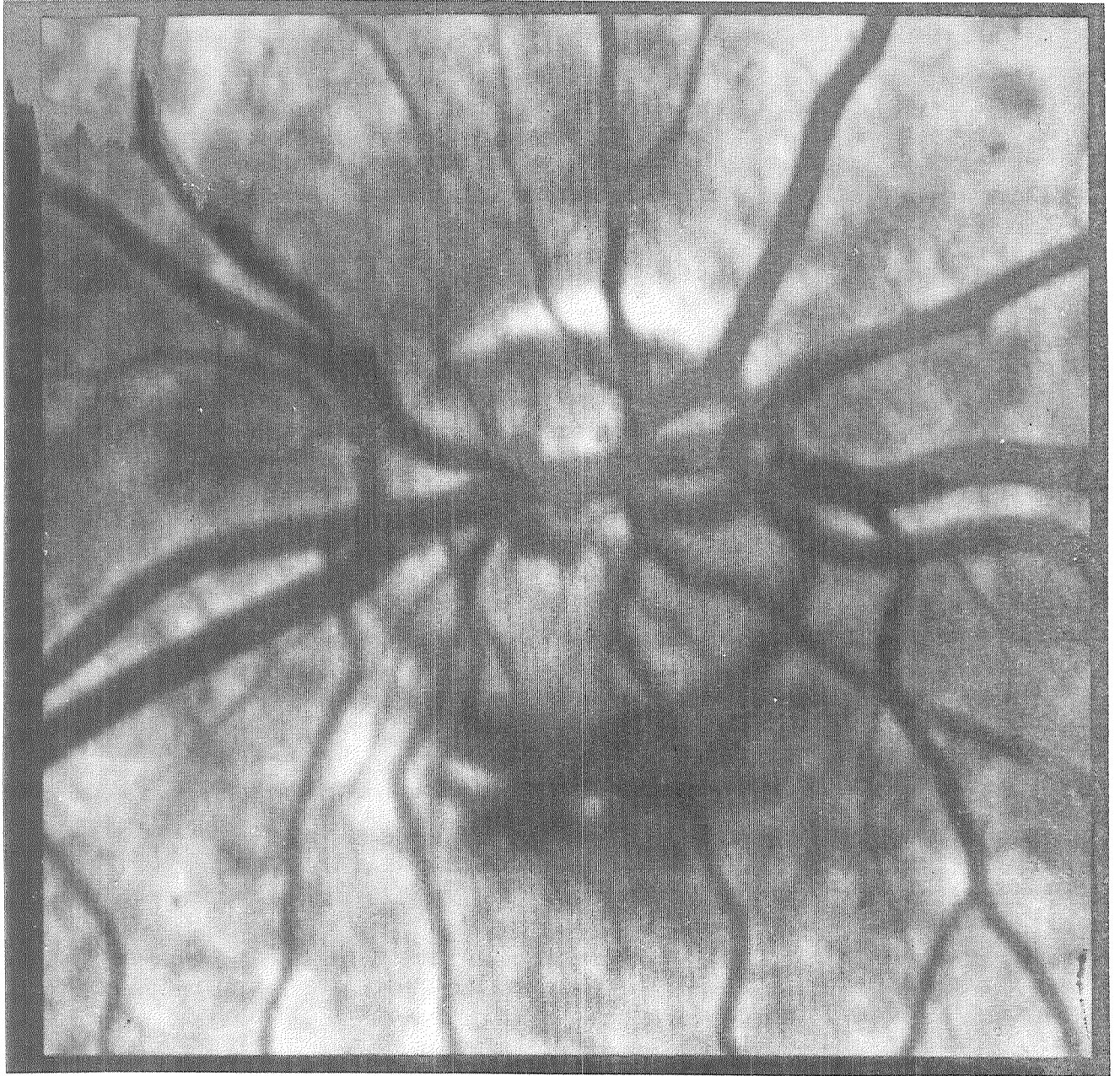


Fig. 2.3 - Immagine originale.



Fig. 2.4 - Immagine ottenuta con l'applicazione dei primi due passi del Modello di Enhancement.

Qualora si verifichi il secondo caso, il modello studiato prevede l'applicazione di ulteriori passi. Per prima cosa si definisce una funzione lineare  $K(f_L(x,y))$  che ha il compito di accentuare ulteriormente il contrasto dell'immagine, differenziando non solo il "nero dal bianco", ma mettendo in evidenza rispetto al fondo anche quelle informazioni con tonalità di grigio paragonabile a quella di una limitata sottoregione che le contiene.

La funzione  $K$  è così definita:

$$f_L(x_1, y_1) < f_L(x_2, y_2) \Rightarrow K(f_L(x_1, y_1)) < K(f_L(x_2, y_2))$$

A partire da questa funzione si costruisce una nuova matrice il cui generico elemento  $f'_W(x_i, y_j)$  è ottenuto come:

$$f'_W(x_i, y_j) = K(f_L(x_i, y_j)) * f_W(x_i, y_j)$$

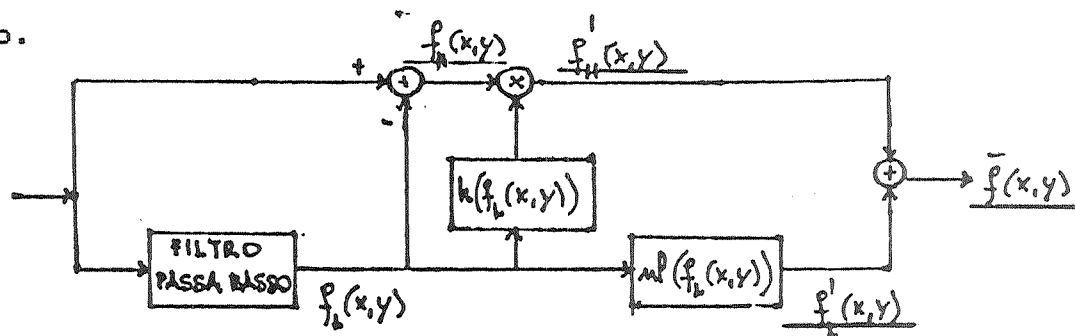
La nuova immagine così ottenuta può presentare delle sottoregioni con luminosità notevolmente superiore a quella media. In questo caso, a partire da  $f_L(x,y)$  si definisce una nuova funzione  $n(f_L(x,y))$  che tende ad abbassare la

luminosità laddove questa risulta elevata; tale funzione non fa altro che ricampionare i livelli di grigio dell'immagine. In particolare avremo:

$$f'_L(x_i, y_j) = nl(f_L(x_i, y_j)).$$

La funzione finale è ottenuta come combinazione delle due funzioni  $f'_H(x, y)$  e  $f'_L(x, y)$ .

In Fig. 2.5 sono schematizzati i vari passi del modello descritto.



$$f_H(x, y) = f(x, y) - f_L(x, y)$$

$$f_L(x_i, y_j) \Rightarrow K(f_L(x_i, y_j))$$

$$f'_H(x_i, y_j) = f_H(x_i, y_j) \cdot K(f_L(x_i, y_j))$$

$$f'_L(x_i, y_j) = nl(f_L(x_i, y_j))$$

$$\bar{f}(x, y) = f'_H(x, y) + f'_L(x, y)$$

Formulazione analitica del Modello di Enhancement

$$\bar{f}(x, y) = [f(x, y) - f_L(x, y)] \cdot K(f_L(x, y)) + nl(f_L(x, y))$$

Fig. 2.5

### 3 - Descrizione dei Programmi

In questo capitolo viene descritto in dettaglio un insieme di programmi appartenenti alla classe dei moduli di pre-elaborazione.

Tutti i programmi sono stati ottimizzati tenendo conto dei dati da elaborare; il sistema di calcolo sul quale sono operanti e' l'elaboratore GOULD SEL Concept 32/27 ed e' stato impiegato per la loro realizzazione il linguaggio ad alto livello FORTRAN 77 plus.

Nome: RICPLA

Funzione: il programma effettua una correzione radiometrica mediante piani interpolanti dell'immagine in ingresso. La correzione e' effettuata solo nella regione significativa, o in una parte di questa, della immagine, specificata da due files di disco che contengono le informazioni relative alle righe e alle colonne (vedi programma INDICI). E' possibile su esplicita richiesta imporre un valore costante alla zona che non interessa nell'immagine in ingresso (zona non significativa). Il file di disco in ingresso contiene una matrice i cui elementi possono essere numeri reali o interi, mentre il file di disco in uscita se non altrimenti specificato contiene una matrice di numeri reali. Se si richiede in uscita una matrice di numeri interi e' possibile effettuare un'operazione di espansione/compressione. Le massime dimensioni gestibili sono 512x512. Si calcola anche il valore massimo e minimo della matrice in uscita.

Organizzazione del programma: il programma e' organizzato

nei seguenti moduli fondamentali:

- a) il programma principale, che si preoccupa di aprire e chiudere i files di ingresso e di uscita, di richiedere i parametri necessari per l'elaborazione e di caricare la matrice in ingresso in memoria estesa;
- b) la subroutine CORPLAN che in pratica realizza la fase di correzione calcolando l'equazione del piano interpolante;
- c) le subroutines MAXMIN, RFCM, ESPCOMR impiegate rispettivamente per la ricerca del valore massimo e minimo della matrice, per imporre il valore costante al fondo dell'immagine e per effettuare l'operazione di espansione/compressione dei livelli di grigio nella sola zona significativa dell'immagine.

Struttura del programma principale: si leggono da terminale

i nomi dei files di disco che contengono la matrice in ingresso, i due vettori con le informazioni sulle coordinate

della regione significativa e la matrice in uscita. Si seleziona la porzione da elaborare, tutta la zona di interesse o una parte di essa, e si richiedono i parametri necessari all'elaborazione. Dapprima le dimensioni della finestra di scansione (n. di righe e n. di colonne), successivamente il passo di scansione della finestra (sia sulle righe, sia sulle colonne), e l'operazione di correzione da effettuare (differenza o divisione). Viene richiesto se occorre imporre un valore costante per il fondo, specificandone in caso affermativo il valore (compreso tra 0 e 255); se la matrice in uscita e' di numeri interi e' possibile richiedere l'operazione di espansione/compressione. Dopo aver caricato in memoria estesa la matrice in ingresso si passa alla fase di elaborazione che consiste nelle chiamate alle subroutines CORPLAN e MAXMIN ed eventualmente alle subroutines RFCM e

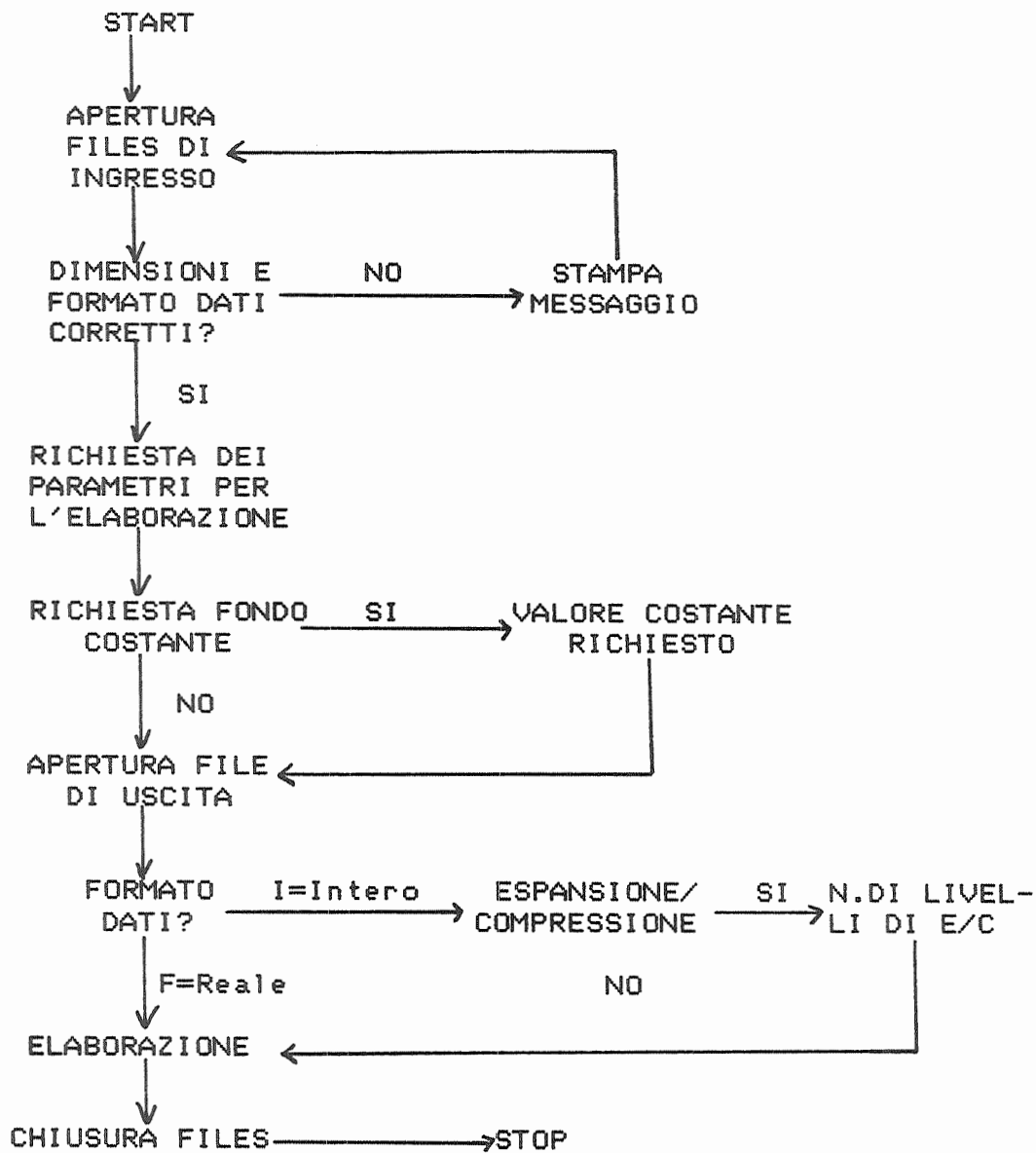
ESPCOMR. Si chiudono tutti i files di disco aperti in testa al programma e si arresta l'esecuzione.

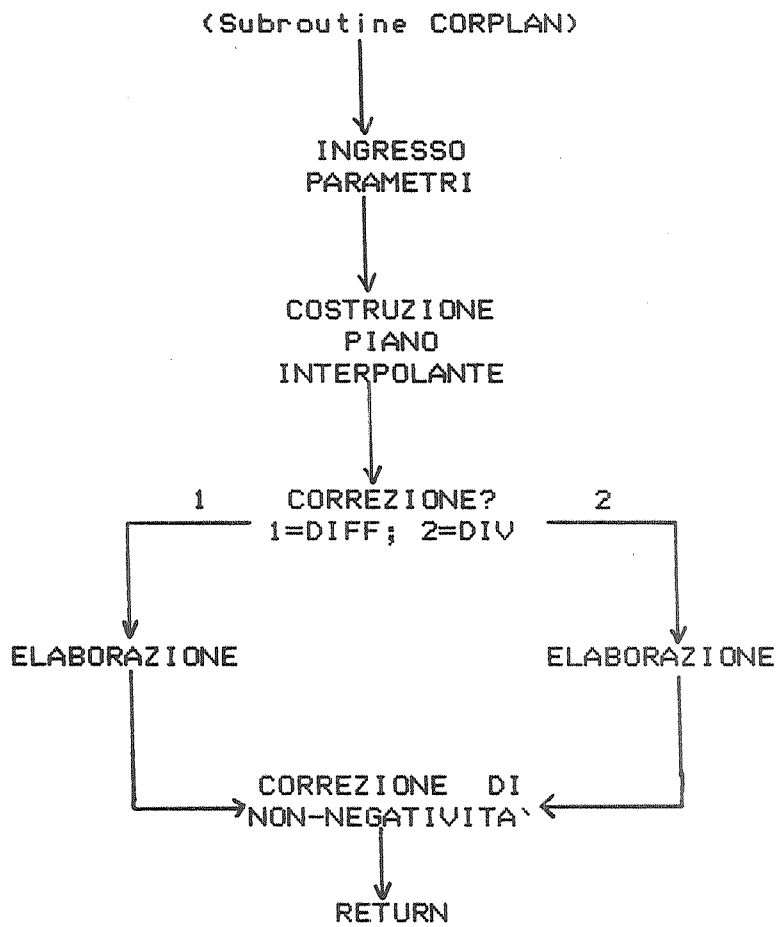
Struttura dell'algoritmo: il corpo centrale dell'algoritmo e' realizzato dalla subroutine CORPLAN che riceve in ingresso il tipo di correzione da effettuare (differenza o divisione), il vettore contenente le informazioni sulla regione significativa (solo il vettore contenente gli indici di riga), le dimensioni della finestra e i relativi passi di scansione, ed infine le coordinate dell'angolo in alto a sinistra della finestra sulla matrice in ingresso passata alla subroutine come dato globale in memoria estesa. Il piano interpolante e' costruito su tutta la finestra, mentre la correzione e' effettuata solo nella sottofinestra le cui dimensioni sono determinate dai valori dei passi di scansione sulle righe e sulle colonne. Infine, per evitare la presenza di un qualche pixel a valore negativo nella porzione corretta, i valori ottenuti vengono corretti

ulteriormente sfruttando il valore minimo (ottenuto durante l'operazione di correzione) nella zona presa in esame.

Schema a blocchi:

(Programma principale)





**Nome:** RICPLAT

**Funzione:** il programma esegue la medesima funzione del programma RICPLA, ma se ne differenzia nel considerare tutta la matrice in ingresso come una zona significativa e quindi non richiede la definizione dei files di disco che contengono gli indici significativi delle righe e delle

colonne. Chiaramente un'altra differenza consiste nel non poter imporre un valore costante al fondo (questo non esiste). Può comunque essere selezionata per l'elaborazione una sottomatrice.

Organizzazione del programma: vedi RICPLA (escludendo la subroutine RFCM).

Struttura del programma principale: vedi RICPLA (escludendo la richiesta di imporre un valore costante al fondo).

Struttura dell'algoritmo: vedi RICPLA (escludendo nel Programma principale la RICHIESTA FONDO COSTANTE).

Schema a blocchi: vedi RICPLA (escludendo la RICHIESTA FONDO COSTANTE).

Nome: RICPOL

Funzione: il programma effettua una correzione radiometrica mediante interpolazioni polinomiali ai minimi quadrati dell'immagine in ingresso. La correzione è effettuata solo nella regione significativa dell'immagine, specificata da

due files di disco che contengono le informazioni relative alle righe ed alle colonne (vedi programma INDICI). E' possibile su esplicita richiesta imporre un valore costante alla regione non significativa dell'immagine. Il file di disco in ingresso contiene una matrice i cui elementi possono essere numeri reali o interi, mentre il file di disco in uscita, se non altrimenti specificato contiene una matrice di numeri reali. Se si richiede in uscita una matrice di numeri interi e' possibile effettuare un'operazione di espansione/compressione. Le dimensioni massime consentite per le due matrici sono di 512x512 elementi. Si calcola anche il valore massimo e minimo della matrice in uscita.

Organizzazione del programma: il programma e' organizzato

nei seguenti moduli fondamentali:

- a) il programma principale che si preoccupa di aprire e chiudere i files di ingresso e di uscita, di richiedere i

parametri necessari per l'elaborazione, di caricare la matrice in ingresso in memoria estesa e di eseguire l'operazione di correzione;

b) le subroutines SQM e POLIN, la prima chiamata dal programma principale restituisce in un vettore i coefficienti del polinomio di interpolazione richiesto, quest'ultimo e' calcolato dalla seconda subroutine;

c) le subroutine MAXMIN, RFCM, ESPCOMR (vedi RICPLA).

Struttura del programma principale: si legge inizialmente il nome del file di disco che contiene la matrice in ingresso, e successivamente a seconda del tipo di elaborazione richiesta (solo sulle righe; solo sulle colonne; ambedue) si leggono i files di disco che contengono i vettori con le coordinate della regione significativa, controllando opportunamente le dimensioni ed il formato dei dati. Dopo la richiesta del grado del polinomio di interpolazione e di imporre un valore costante al fondo dell'immagine si legge

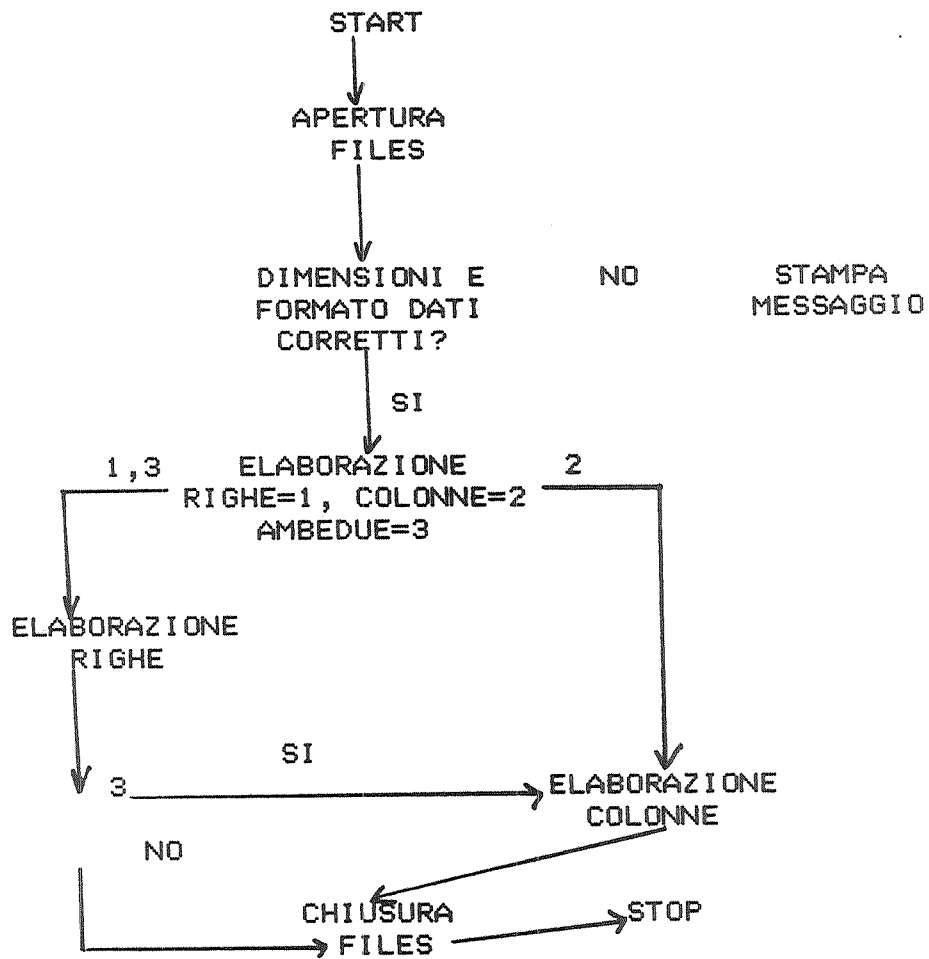
il nome del file di disco che contiene la matrice in uscita, e se il formato dei dati è intero può essere richiesta un'operazione di espansione/compressione. Dopo il caricamento in memoria estesa della matrice in ingresso comincia la fase di elaborazione. Al termine si chiudono i files aperti e si arresta l'esecuzione.

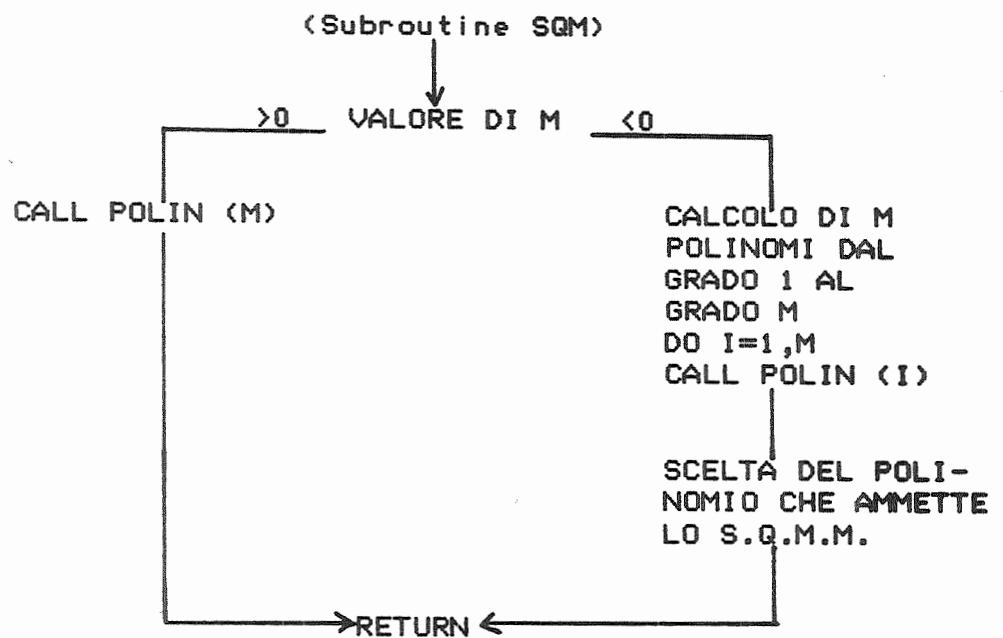
Struttura dell'algoritmo: il corpo centrale dell'algoritmo è realizzato nel programma principale, dove per ogni vettore elaborato (riga o colonna) si calcola il polinomio che introduce l'errore minimo e che viene utilizzato per la correzione mediante un'operazione di differenza o di divisione della riga o colonna in esame. Se, infatti, alla richiesta iniziale del grado del polinomio di interpolazione si introduce un valore negativo  $-m$ , questo viene assunto (in assoluto) come il valore massimo per la ricerca del polinomio di scarto quadratico medio minimo tra il polinomio di grado  $l$  e il polinomio di grado  $l-m$ . Il massimo grado

dei polinomi interpolanti e' limitato ad 11. Infine e'  
possibile effettuare tali interpolazioni polinomiali  
monodimensionalmente (solo sulle righe o solo sulle colonne)  
o bidimensionalmente (elaborando prima le righe e  
successivamente le colonne).

Schema a blocchi:

(Programma principale)





Nome: RICPOLT

Funzione: il programma esegue la stessa funzione del programma RICPOL, ma differisce dal fatto di considerare tutta la matrice di ingresso come una zona significativa e quindi non richiede la definizione dei files di disco che contengono i vettori con le coordinate significative per le righe e/o per le colonne. E' possibile selezionare una sottomatrice limitando ad essa l'elaborazione. Non e' prevista la possibilita' di imporre un valore costante al fondo.

Organizzazione del programma: vedi RICPOL

Struttura del programma principale: vedi RICPOL

Struttura dell'algoritmo: vedi RICPOL

Schema a blocchi: vedi RICPOL

Nome: CONENH

Funzione: il programma effettua un enhancement del contrasto sulla matrice contenuta nel file di disco in ingresso. E' possibile anche selezionare una sottomatrice, e in quel caso operare solo su di essa. Le matrici contenute nei files di disco in ingresso ed in uscita hanno elementi che possono essere interi o reali indipendentemente. Le massime dimensioni gestibili sono 512x512 elementi. Si calcola anche il valore massimo e minimo della matrice in uscita.

Organizzazione del programma: il programma e' organizzato nei seguenti moduli fondamentali:

a) il programma principale che si preoccupa di aprire e chiudere i files di disco di ingresso e di uscita, di

richiedere i parametri necessari per l'elaborazione, di caricare i dati in memoria estesa e di realizzare una parte dell'elaborazione;

b) la subroutine MMGF che effettua sui dati nel file di disco in ingresso una media mobile con finestra di scansione di dimensioni variabili;

c) le subroutine ESP e FILT, la prima che effettua l'espansione/compressione dei livelli di grigio eventualmente richiesta, la seconda di ausilio alla subroutine MMGF.

Struttura del programma principale: si leggono da terminale i nomi dei files di disco che contengono la matrice di ingresso e di uscita, controllando opportunamente le dimensioni ed il formato dei dati contenuti in ognuna. Vengono successivamente richiesti i parametri per l'elaborazione e le dimensioni della sottomatrice da elaborare, le dimensioni della finestra di scansione,

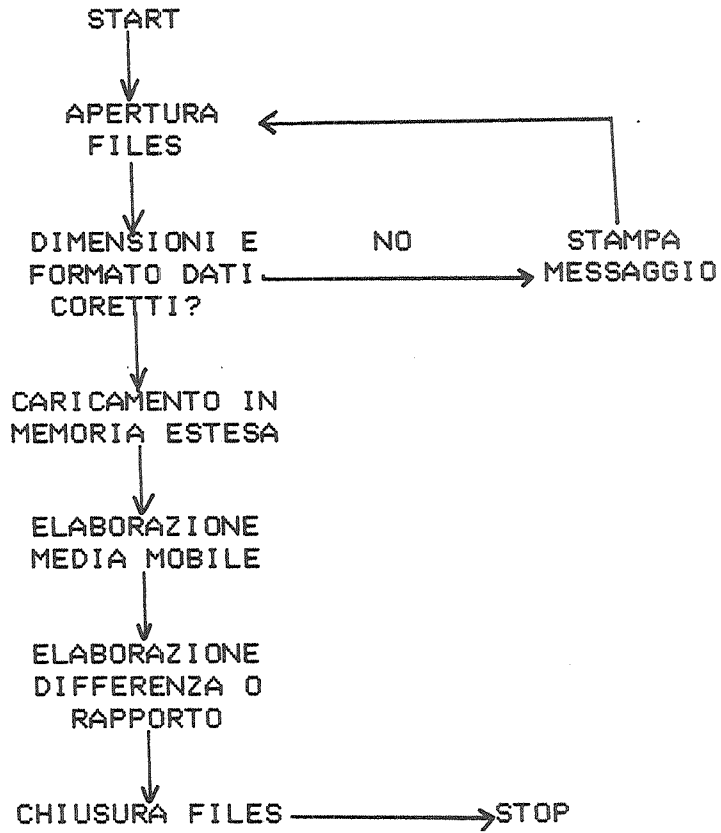
l'operazione da eseguire e si caricano i dati in memoria estesa. L'elaborazione consiste nella chiamata alla subroutine MMGF e all'esecuzione del tipo di correzione richiesta. Si chiudono infine i files aperti in testa al programma e si arresta l'esecuzione.

Struttura dell'algoritmo: l'algoritmo consiste nell'effettuare una media mobile sui dati in ingresso utilizzando una finestra di dimensioni variabili che scorrendo tutta l'immagine sostituisce al pixel posto nel centro della finestra il valor medio calcolato sui valori dei pixels che cadono all'interno della finestra. La correzione puo` poi avvenire in due modi:

a) effettuando un'operazione di differenza, per mezzo della quale si ottiene un'immagine manipolata sottraendo all'immagine originale, quella mediata;

b) effettuando un'operazione di divisione, per mezzo della quale si ottiene un'immagine manipolata dal rapporto immagine originale/immagine mediata.

Schema a blocchi:



Nome: NKXL

Funzione: il programma modifica il contrasto dell'immagine contenuta nel file di disco in ingresso. La manipolazione e' guidata da una seconda matrice d'ingresso i cui valori indirizzano gli elementi di un vettore. I files di disco in ingresso devono necessariamente contenere matrici di

elementi interi, tranne per l'immagine da manipolare che puo` presentare dei dati reali. Il file di disco in uscita contiene una matrice di elementi reali. Le massime dimensioni gestibili sono 512x512. Vengono anche calcolati il valore massimo e minimo della matrice in uscita.

Organizzazione del programma: non vengono utilizzate subroutines, quindi tutto programma consiste nel solo programma principale.

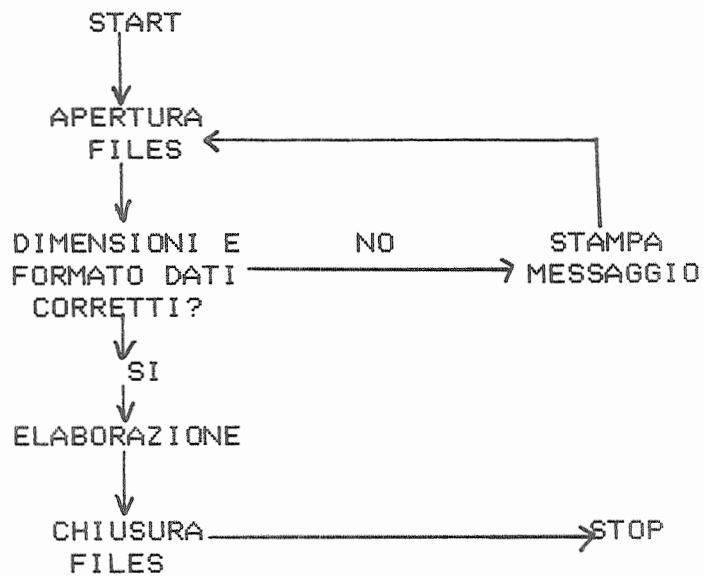
Struttura del programma principale: si leggono dal terminale i nomi dei files di disco che contengono le due matrici ed il vettore in ingresso, controllando opportunamente le dimensioni ed il formato dei dati. Dopo la lettura del nome del file di disco che conterra` la matrice in uscita inizia l'elaborazione. Al termine si chiudono tutti i files aperti e si arresta l'esecuzione.

Struttura dell'algoritmo: l'algoritmo realizza il passo  $f_p(x,y) \rightarrow k(f_L(x,y))$  del modello di enhancement restituendo

l'immagine  $f'_H(x,y)$ . Ad ogni elemento  $(i,j)$  di  $f_H$  corrisponde un elemento di  $f_L$ , il cui valore  $f_L(i,j)=z$  indirizza nel vettore  $K$  l'elemento di indice  $z$  e valore  $\eta$ . L'immagine in uscita  $f'_H$  conterra' allora in posizione  $(i,j)$  il valore  $f'_H(i,j)=f_H(i,j)\cdot\eta$ .

**Schema a blocchi:**

(Programma principale)



**Nome:** NONLIN

**Funzione:** il programma modifica la luminosita' dell'immagine contenuta nel file di disco in ingresso. Tutti i files di

disco sia in ingresso che in uscita devono necessariamente contenere matrici di elementi interi. Le massime dimensioni gestibili sono 512x512. Vengono anche calcolati i valori massimo e minimo della matrice in uscita.

Organizzazione del programma: non vengono utilizzate subroutines, quindi tutto il programma consiste nel solo programma principale.

Struttura del programma principale: si leggono dal terminale i nomi dei files di disco che contengono la matrice, il vettore di ingresso e la matrice in uscita, controllando opportunamente le dimensioni ed il formato dei dati. Successivamente comincia l'elaborazione. Al termine vengono chiusi tutti i files aperti.

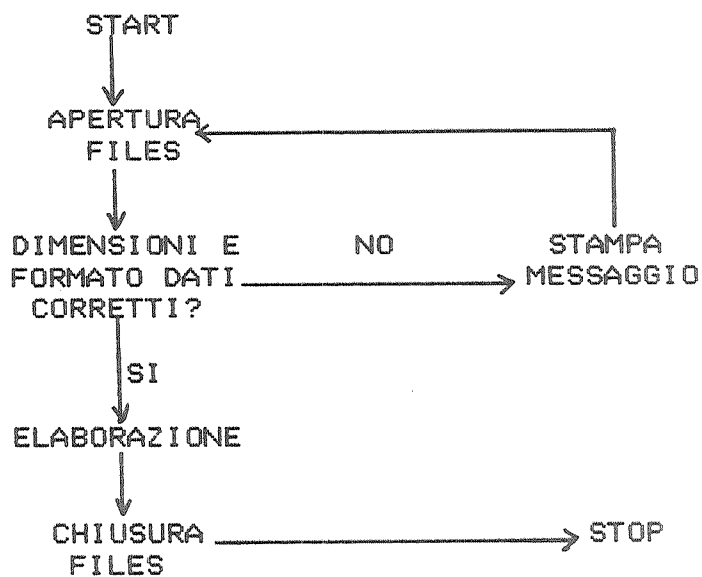
Struttura dell'algoritmo: l'algoritmo consiste nella sostituzione dei valori della matrice di ingresso con quelli presenti in un vettore. L'indirizzamento di tale vettore e' realizzato sfruttando il valore di ogni elemento della

matrice in ingresso. E' qui realizzato il passo di modifica della luminosita' del modello di enhancement:

$$n1(f_L(x,y))=f'_L(x,y).$$

Schema a blocchi:

(Programma principale)



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Andrews H.C., Hunt B.R.: "Digital Image Restoration", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1977.
- [2] Anderson B.D.O, Moor J.B.: "Optional Filtering", Prentice-Hall, N.J., 1979.
- [3] Barnea D.I., Silvermann H.F.: "A Class of Algorithms for Fast Digital Image Restoration", IEEE Trans. Computers 21, 1972 (pp. 179-186).
- [4] Cappellini V., Constantinides A.G., Emiliani P.: "Digital Filters and their Applications", Academic Press, Inc., 1978.
- [5] Gonzalez R.C., Fittes B.A.: "Gray-Level Transformation for Interactive Image Enhancement", Proc. Second Conference on Remotely Manned Sistem, 1975.
- [6] Gonzalez R.C., Wintz P.: "Digital Image Processing", Addison-Wesley, Reading, Mass., 1977.
- [7] Hall E.L.: "Almost Uniform Distribution for Computer Image Enhancement", IEEE Trans. Comput., 1974 (pp. 207-208).
- [8] Huang T.S., Yang G.J., Tang G.Y.: "A Fast Two-dimensional Median Filtering Algorithm", IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Process, ASSP-27, 1979 (pp. 13-18).
- [9] Hunt B.R., Janney D.N., Zeigler R.N.: "Introduction to Restauration and Enhancement of Radiographic Images", Report LA 4305, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, N.M., 1970.
- [10] Woods R.E., Gonzalez R.C.: "Real-time Digital Image Enhancement", Prod. IEEE 69, 1981, (pp. 643-654)
- [11] Peli T., Lim J.S.: "Adaptive Filtering for Image Enhancement", J. Opt. Eng. 21, 1982, (pp. 108-112).
- [12] Niemann H.: "Pattern Analysis", Fu, Huang and Schroeder Ed., Springer Verlag, Berlin, 1981.