

Consiglio Nazionale delle Ricerche

**ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE**

PISA

**PACKAGE PER L'INDAGINE STATISTICA DI
IMMAGINI MONOCROMATICHE**

P. Andronico, A. Marchetti, L. Azzarelli, M. Chimenti

Contratto di collaborazione scientifica IEI-Aeritalia

Nota Interna B4-28

Luglio 1990

Copyright© 1990

Stampato in proprio dal Servizio Tecnografico dell'Istituto di
Elaborazione della Informazione - CNR - Pisa.

PACKAGE PER L'INDAGINE STATISTICA DI IMMAGINI MONOCROMATICHE

P. Andronico, A. Marchetti, L. Azzarelli, M. Chimenti

Un primo approccio nell'analisi non distruttiva di immagini digitali è quello di tipo statistico.

Sono diverse le occasioni in cui si richiede un'indagine di questo genere:

- a) quando si vuole verificare le caratteristiche di un acquisitore;
- b) nel trattamento di immagini di tipo tessitura;
- c) nella verifica del funzionamento di filtri e/o look up table di input;
- d) nel riconoscimento automatico di difetti.

In generale questo tipo di indagine ha un duplice scopo:

- 1) rilevare alcuni parametri statistici dei valori radiometrici costituenti un'immagine
- 2) indicare eventuali dipendenze tra i parametri statistici ed alcune caratteristiche di una classe di immagini.

Nella realizzazione di un sistema per questo tipo di analisi si dovrà quindi tener conto della necessità di gestire un gran numero di immagini su ognuna delle quali si dovrà eseguire un elevato numero di misure. Diventa quindi vitale che i vari moduli che costituiscono il sistema siano dotati di un'interfaccia che soddisfi i seguenti requisiti:

Facilità d'uso: i moduli devono essere dei semplici strumenti di misura che non devono distogliere l'operatore dalla sua ricerca.

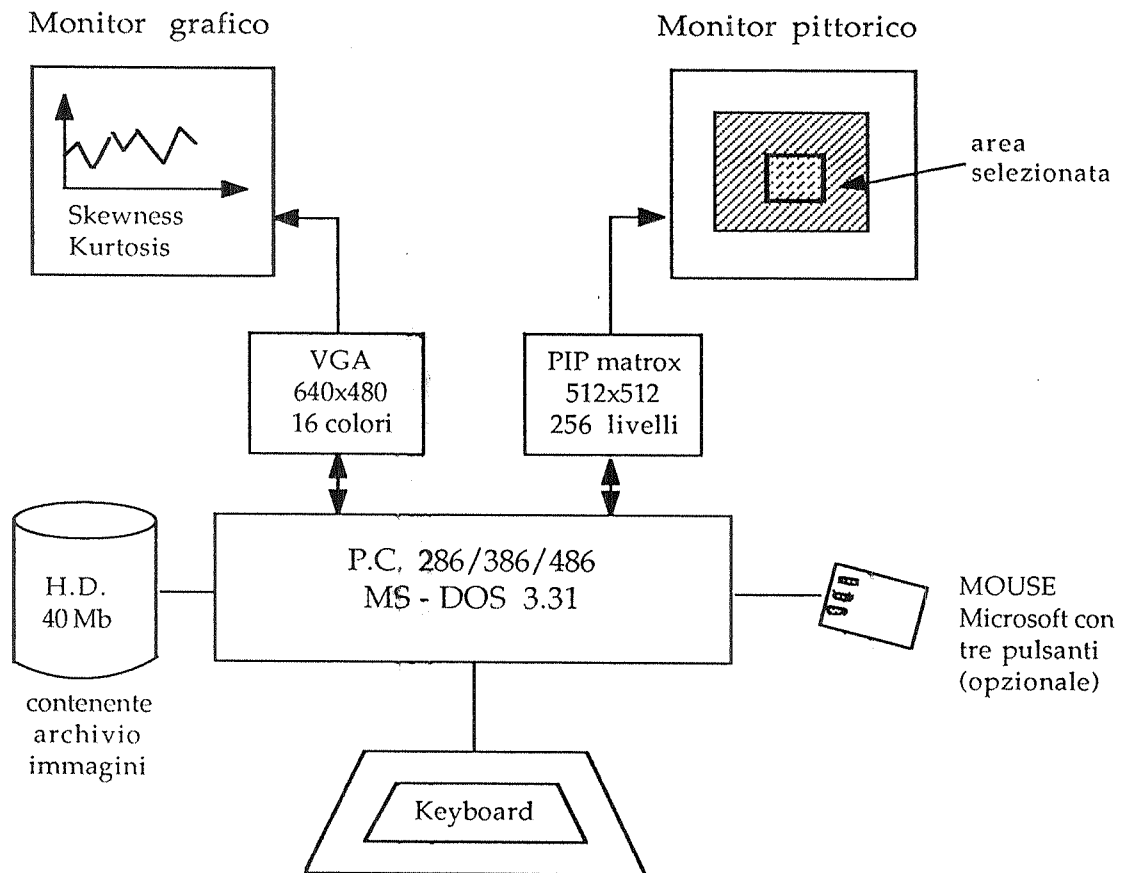
Omogeneità: le interfacce dei vari moduli devono essere il più possibile simili tra loro, per cui il passaggio da un modulo all'altro deve avvenire senza che l'utente avverta un cambiamento notevole dell'ambiente di lavoro.

Potenza: l'utente deve avere sempre a disposizione tutti i dati di cui ha bisogno nella sua ricerca senza la necessità che sia lui stesso a richiederli.

Il sistema per analisi statistica di immagini da noi realizzato è costituito da un package di moduli omogenei, ognuno dei quali si presenta come uno strumento interattivo di tipo analogico che mantiene le facilitazioni computazionali tipiche di uno strumento digitale.

Nell'architettura del sistema è stata privilegiata l'interazione per ottenere risposte, alle azioni dell'operatore, in tempo reale.

La configurazione hw da noi utilizzata è la seguente:



Il sistema gestisce due monitor, uno destinato alla restituzione dell'immagine (monitor pittorico) e l'altro destinato a visualizzare

grafici e dati relativi all'immagine (o a parte di essa) in esame (monitor grafico).

Per il pilotaggio della scheda PIP è stata utilizzata la libreria messa a disposizione dalla Matrox, mentre per il controllo della VGA e del mouse si è dovuto costruire un nucleo di routine di gestione.

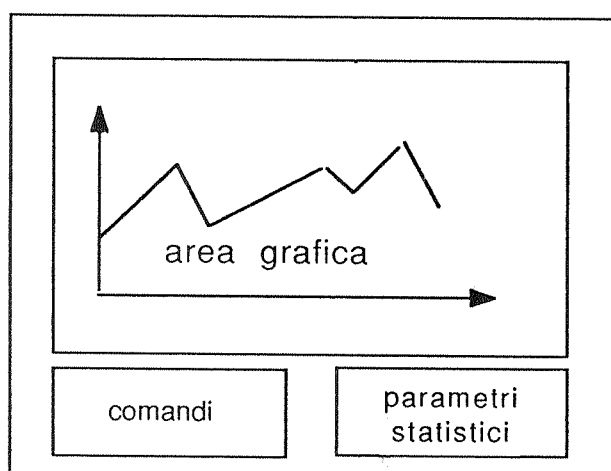
In generale i vari moduli costituenti il pacchetto sono così organizzati:

- A - selezione della regione di interesse dall'immagine in esame
- B - calcolo e visualizzazione di grafici e parametri relativi alla regione selezionata

La selezione (A) consente sia di modificare la dimensione della regione selezionata, che è vincolata ad essere di forma rettangolare degenerabile in una riga/colonna o in un punto, sia la sua posizione.

In genere l'operazione che modifica le dimensioni, essendo la più delicata, viene guidata con dei messaggi su schermo. L'operazione di posizionamento viene eseguita rapidamente con il mouse, mentre per un posizionamento che richiede precisione si possono usare i tasti freccia.

Le informazioni che escono sul monitor grafico sono ripartite in base alla loro natura. Lo schermo è infatti suddiviso in 3 aree: una destinata a contenere i comandi con cui l'operatore pilota il modulo, e le altre due destinate alla visualizzazione dei risultati grafici e numerici (parametri statistici).



Parametri statistici

I parametri statistici calcolati su di una immagine monotonale nel campo spaziale, sono essenzialmente delle misure di funzioni discrete.

Un'immagine monotonale di dimensioni 512x512 con 256 possibili livelli di grigio è descritta da una funzione discreta a due variabili

$$L(x,y) = \text{luminanza del pixel } (x,y) \quad 0 < x,y < 511 \quad 0 \leq L(x,y) \leq 255$$

Dalla funzione $L(x,y)$ si può ricavare un'altra funzione discreta unidimensionale $I(l)$ così definita

$$I(l) = \text{Numero dei pixel } (x,y) \text{ t.c. } L(x,y) = l$$

La funzione $I(l)$ rappresenta la distribuzione della frequenza dei valori radiometrici dell'immagine ed il suo grafico è detto istogramma. Al posto di $I(l)$ si può considerare la funzione $F(l) = \frac{I(l)}{M}$ ove M è il numero complessivo dei pixel dell'immagine. $F(l)$ rappresenta la distribuzione della frequenza relativa dei valori radiometrici.

Dalle funzioni $L(x,y)$ e $I(l)$ si possono ricavare diversi parametri, che descrivono la forma dei rispettivi grafici e da cui si intuiscono diverse caratteristiche dell'immagine.

Parametri ricavati da $L(x,y)$

- 1) $\min L(x,y)$: minimo valore radiometrico
- 2) $\max L(x,y)$: massimo valore radiometrico
- 3) $\sum_{x,y=0}^{511} L(x,y)$: integrale

Parametri ricavati da $I(l)$

- 1) l t.c. $I(l)$ è minimo e $\neq 0$
- 2) l t.c. $I(l)$ è massimo: moda

$$3) \quad \bar{L} = \sum_{l=0}^{255} l \cdot F(l); \quad \text{media aritmetica}$$

$$4) \quad \sigma = \sqrt{\sum_{l=0}^{255} (l - \bar{L})^2 \cdot F(l)} \quad ; \quad \text{scarto quadratico medio}$$

$$5) \quad \text{skewness} \quad \alpha_3 = \frac{\sum_{l=0}^{255} (l - \bar{L})^3 \cdot F(l)}{\sigma^3}$$

$$6) \quad \text{kurtosis} \quad \alpha_4 = \frac{\sum_{l=0}^{255} (l - \bar{L})^4 \cdot F(l)}{\sigma^4}$$

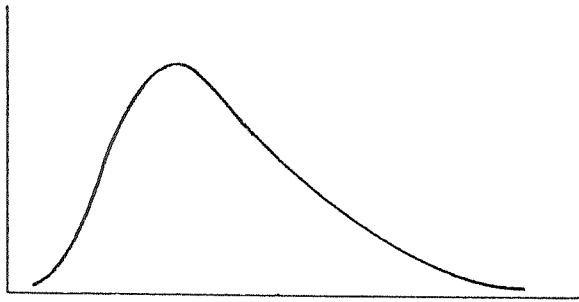
Le misure skewness e kurtosis si dicono: momenti di ordine rispettivamente terzo e quarto, riferiti alla media aritmetica \bar{L} ed espressi in forma non-dimensionale. Quest'ultima caratteristica si ottiene dividendo per una potenza dello scarto quadratico medio σ .

Il σ è uguale alla radice quadrata del momento di ordine secondo riferito alla media aritmetica \bar{L} espresso in forma dimensionale.

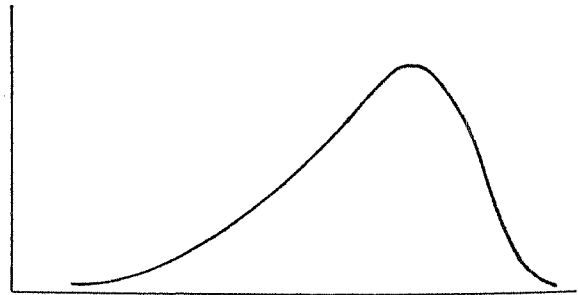
Significato di σ , α_3 , α_4

Lo scarto quadratico medio σ misura la dispersione della distribuzione della frequenza dei valori radiometrici rispetto alla media aritmetica \bar{L} .

Lo skewness α_3 misura il grado di scostamento dalla simmetria. Se la curva di frequenza di una distribuzione ha una "coda" più lunga a destra del massimo centrale, piuttosto che a sinistra, la distribuzione si dice positivamente asimmetrica ($\alpha_3 > 0$). Viceversa si dice negativamente asimmetrica ($\alpha_3 < 0$).



Positivamente asimmetrica
 $\alpha_3 > 0$

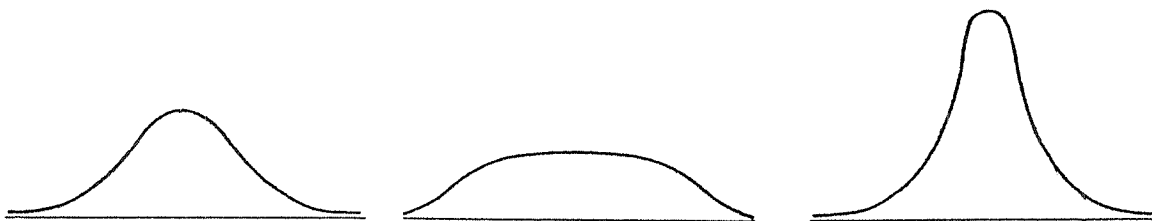


Negativamente asimmetrica
 $\alpha_3 < 0$

Per curve perfettamente simmetriche, come la curva normale, $\alpha_3 = 0$.

Il kurtosis o curtosi α_4 , indica l'altezza massima raggiunta dalla curva delle frequenze, in relazione alla curva normale (curva di Gauss). La distribuzione normale viene detta mesocurtosi. Le deviazioni da questa si dicono leptocurtica quando è più alta, e platicurtica quando è più bassa.

In una distribuzione normale (mesocurtica) $\alpha_4 = 3$, per questo motivo il kurtosis normalmente è espresso come $\alpha_4 - 3$; in questo modo esso è positivo per una distribuzione leptocurtica, negativo per una distribuzione platicurtica ed uguale a 0 per una distribuzione mesocurtica.



Mesocurtosi $\alpha_4 = 0$

Platicurtosi $\alpha_4 < 0$

Leptocurtosi $\alpha_4 > 0$

Per curve che si avvicinano alla distribuzione normale

$$\alpha_4 - 3 \approx 0$$

$$\alpha_4 \geq \alpha_2^3 + 1$$

Attualmente i moduli che costituiscono il package sono cinque: Stereo, Linea, Histo, Momenti, Sterhisto. I primi due moduli forniscono una rappresentazione grafica rispettivamente dell'intera immagine o di una porzione il primo, e di una riga/colonna il secondo.

Histo e Momenti presentano i parametri statistici relativi ad un'area selezionata, Histo in modo complessivo, Momenti distinguendoli per riga/colonna. Sterhisto fornisce una rappresentazione grafica degli istogrammi delle righe/colonne dell'area selezionata.

Nei paragrafi successivi questi 5 moduli vengono presentati in modo dettagliato. In sviluppo vi sono altri moduli per il calcolo di istogrammi su porzioni geometriche dell'immagine, come circonferenza, ellissi e segmenti con coefficiente angolare variabile, e per il calcolo di istogrammi del secondo ordine.

Modulo STEREO

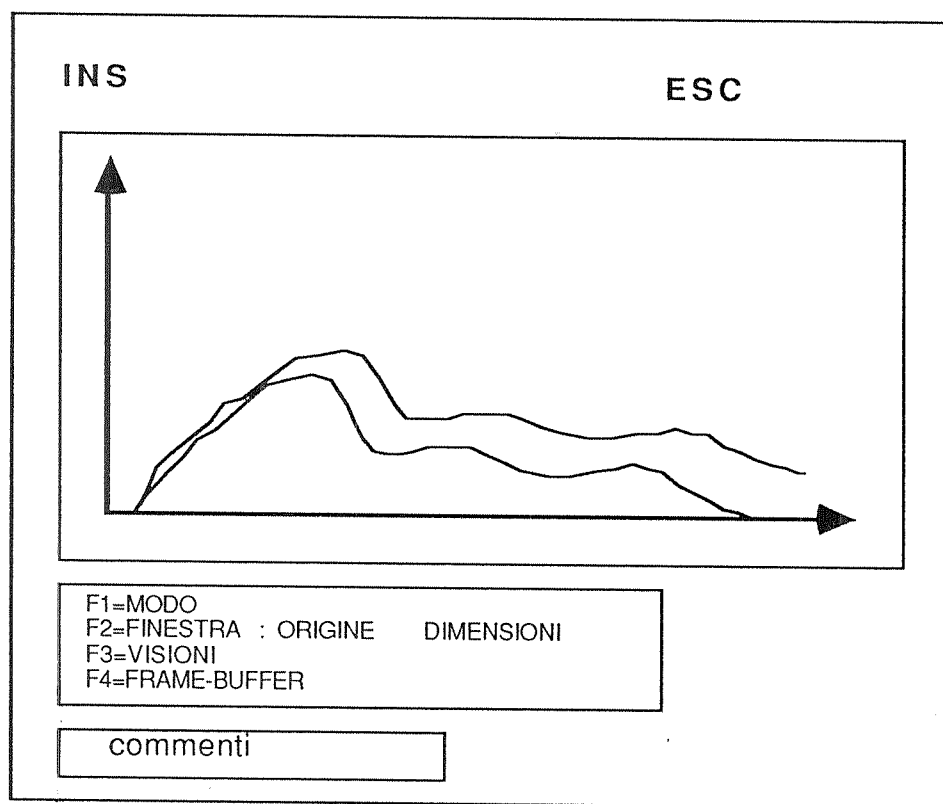
Questo pacchetto visualizza in falsa tridimensionalità lo stereogramma dei livelli di grigio di una finestra dell'immagine precedentemente selezionata dall'utente.

L'utente stesso ha la possibilità di scegliere due modi di scansione della finestra da analizzare:

- il primo, NORMALIZZATO, prevede la visualizzazione di due righe su tre della porzione di immagine definita e, per ogni riga, di un pixel ogni due;
- il secondo, ZOOMx2, visualizza tutte le righe e tutte le colonne di una finestra fissa, che per questioni di capacità massime dell'area destinata al grafico, ha dimensione 256x341 pixels.

Un'altra opzione fa sì che l'utente possa scegliere quattro diversi orientamenti nello spazio (BASSO, ALTO, DESTRA, SINISTRA), per la visualizzazione dello stereogramma. La lettura della matrice immagine sarà quindi condizionata anche da tale scelta.

Al lancio del programma, l'interfaccia su monitor grafico si presenta come illustrato nella seguente figura.



Interfaccia del modulo Stereo

Inizialmente l'area selezionata copre tutta l'immagine pittorica 512x512, il modo è posizionato su NORMALIZZATO e la visione è dal BASSO. Per vedere lo stereogramma con questa impostazione delle opzioni occorre premere il tasto INS, se invece si desidera modificare le opzioni è sufficiente selezionare il tasto funzione corrispondente come riportato nella tabella sottostante:

- F1** seleziona il modo di lettura della matrice immagine
- F2** seleziona l'area dell'immagine di cui si vuole la rappresentazione in stereogramma.
- F3** Seleziona il lato dell'immagine da cui viene costruito lo stereogramma
- F4** Cambia il frame della memoria immagine della scheda PIP.

Con il tasto ESC si termina il programma.

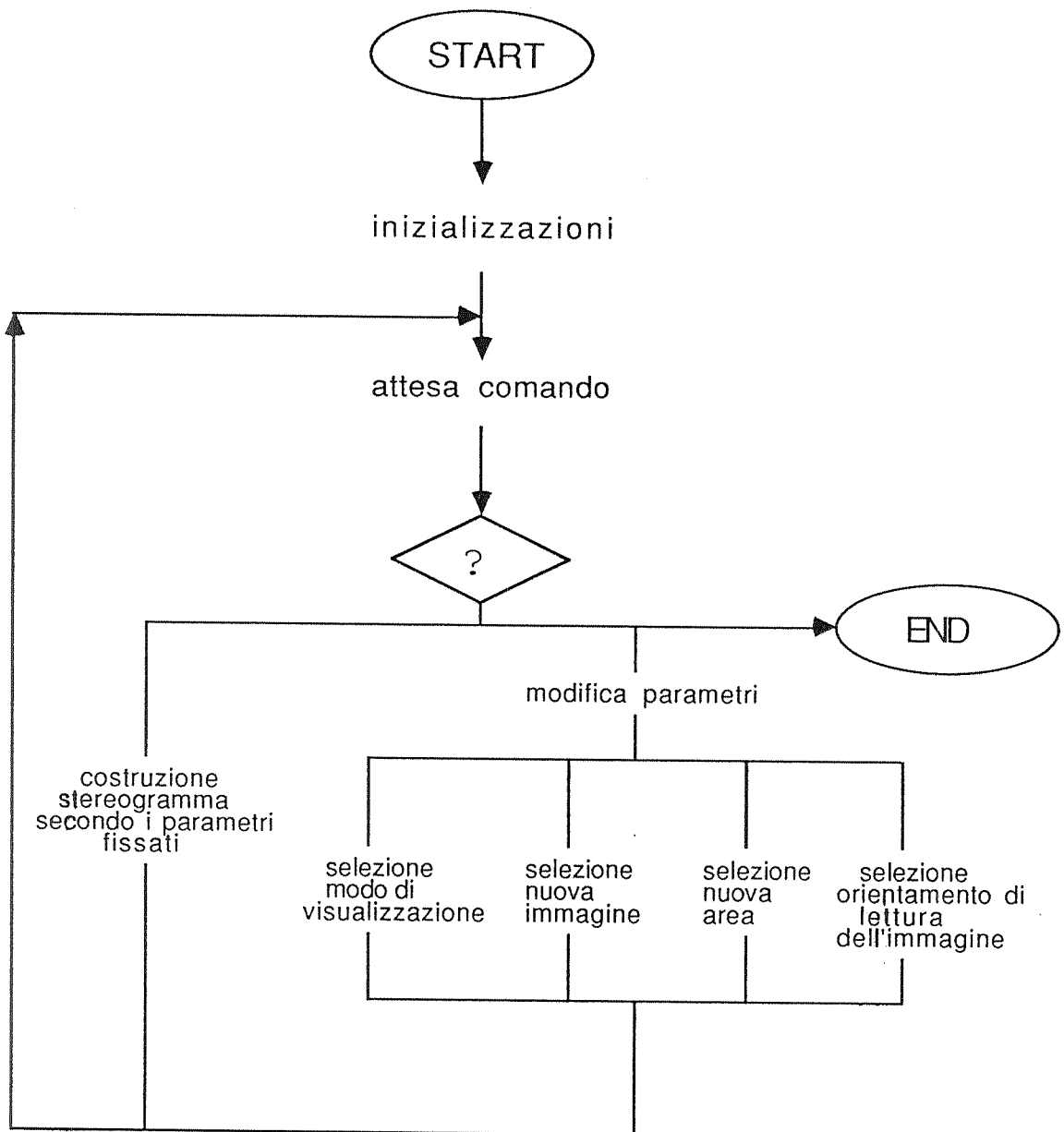
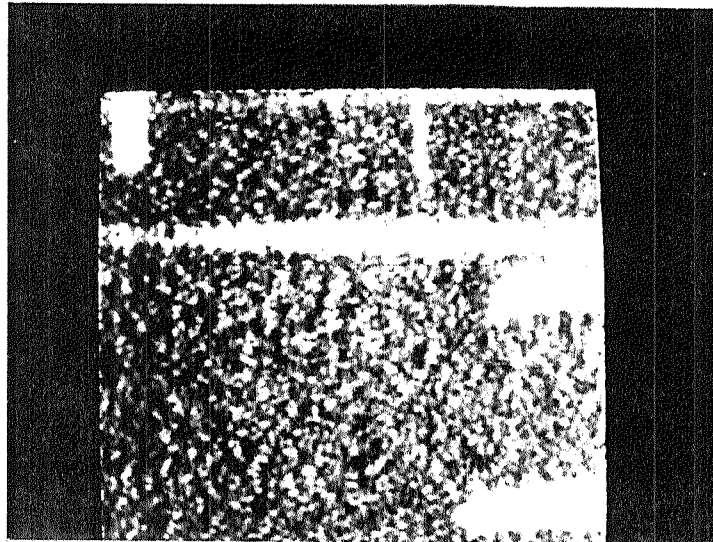
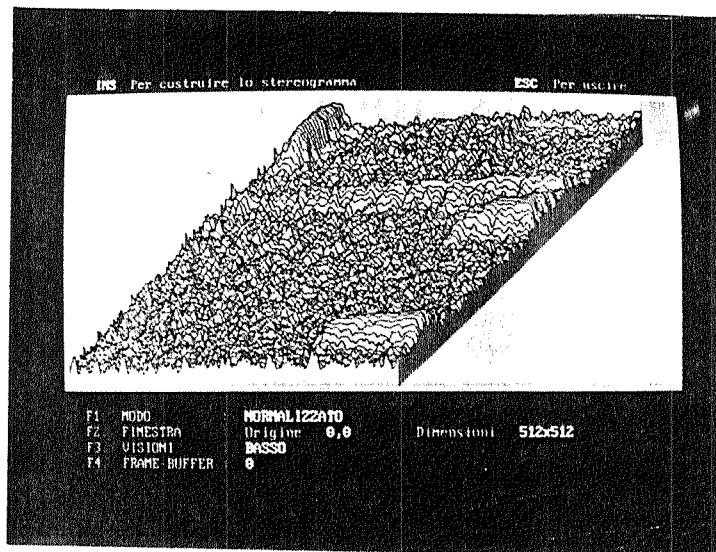


Diagramma a blocchi del modulo Stereo



OUT.SPOILER AT 10X

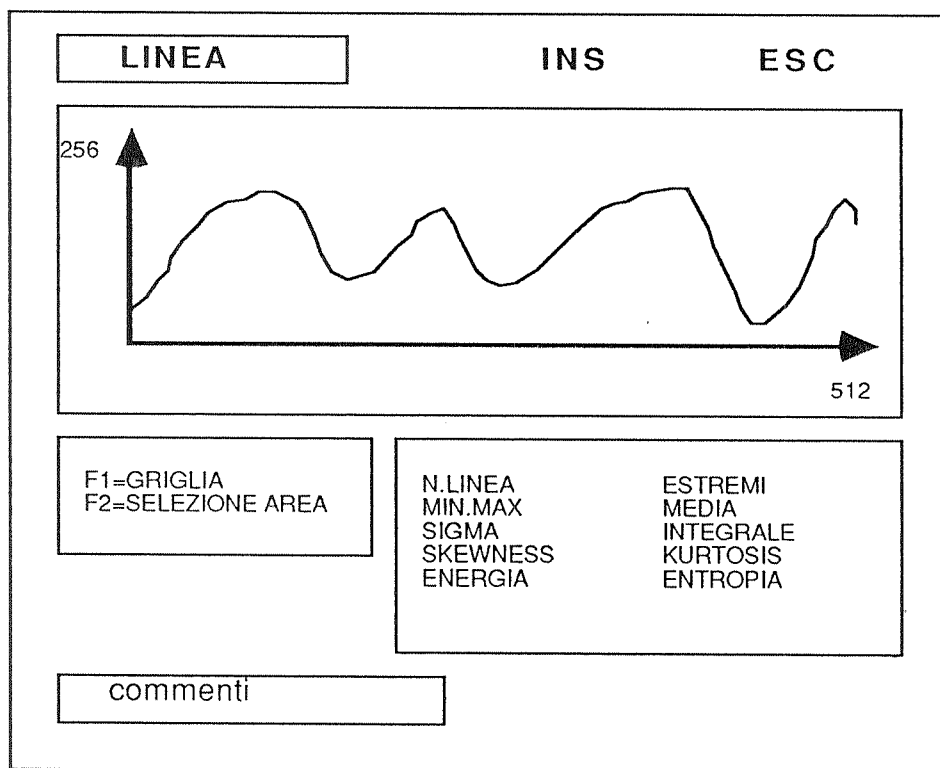


Stereogramma di tutta l'immagine

Modulo LINEA

Il modulo LINEA permette di visualizzare su monitor grafico la curva dei valori radiometrici di una riga o di una colonna dell'immagine attualmente proiettata sul monitor pittorico. La linea in esame può essere scelta interattivamente. Il programma, oltre al grafico, visualizza una serie di parametri relativi alla linea stessa.

Al lancio del programma, l'interfaccia su monitor grafico, si presenta all'utente suddivisa in diverse aree.



Interfaccia del modulo linea

In alto a sinistra dello schermo viene visualizzato il titolo del programma.

La maggior parte dello schermo è occupata dall'area destinata a contenere il grafico.

Gli assi cartesiani rappresentati mostrano la capacità massima dell'area stessa. Infatti si possono avere visualizzati al massimo 512 pixels, sull'asse delle ascisse, e 256 livelli di grigio sull'asse delle ordinate.

Inizialmente il programma visualizza la riga 255 dell'immagine scelta e ne costruisce il grafico relativo.

Sopra l'area grafica, accanto al titolo, si hanno due comandi INS ed ESC, rispettivamente per cambiare il frame_buffer e quindi l'immagine su cui si intende lavorare, e per uscire dal programma stesso.

L'area di testo è suddivisa ulteriormente in tre zone:

- a) la parte dedicata alle opzioni di scelta di cui dispone l'utente;
- b) l'area destinata alla restituzione dei parametri relativi alla linea in esame;
- c) l'ultima riga su cui vengono visualizzati commenti di help necessari all'utilizzo del pacchetto da parte dell'utente.

Opzioni selezionabili dall'utente

L'utente, oltre a poter cambiare con il comando INS, la memoria di immagine su cui intende lavorare, ha a disposizione le seguenti scelte:

F1 Per visualizzare sul grafico una griglia di riferimento. Al lancio del programma, nell'area grafica vengono disegnati solo gli assi cartesiani.

L'utente ha la possibilità, digitando il tasto funzione F1, o premendo il tasto centrale del mouse, di far apparire sul grafico un reticolo. Questo per facilitare la lettura del grafico.

Premendo nuovamente sul tasto centrale del mouse o digitando una seconda volta il tasto F1, si cancella il reticolo, lasciando invariato il grafico presente nell'area.

F2 Per modificare le dimensioni o l'orientamento (orizzontale, verticale) della linea in esame. Digitando il tasto funzione F2 o premendo il tasto destro del mouse, la linea_cursore scompare ed appare un cursore al centro dell'immagine a forma di croce. Spostando il mouse o usando i tasti freccia da tastiera, si può far scorrere il cursore sull'intera immagine. Contemporaneamente si vedranno cambiare le coordinate del cursore nell'area testo relativa ai dati numerici.

Nell'ultima riga di testo apparirà un commento che indica all'utente la necessità di selezionare il primo punto utile. La selezione verrà fatta premendo il tasto sinistro del mouse o premendo ENTER. Una volta selezionato il primo punto, si chiede di selezionare in modo analogo il secondo vertice del segmento desiderato. Quindi viene visualizzato il grafico relativo al segmento selezionato che può essere poi spostato su tutta l'immagine con il mouse o con i tasti freccia da tastiera.

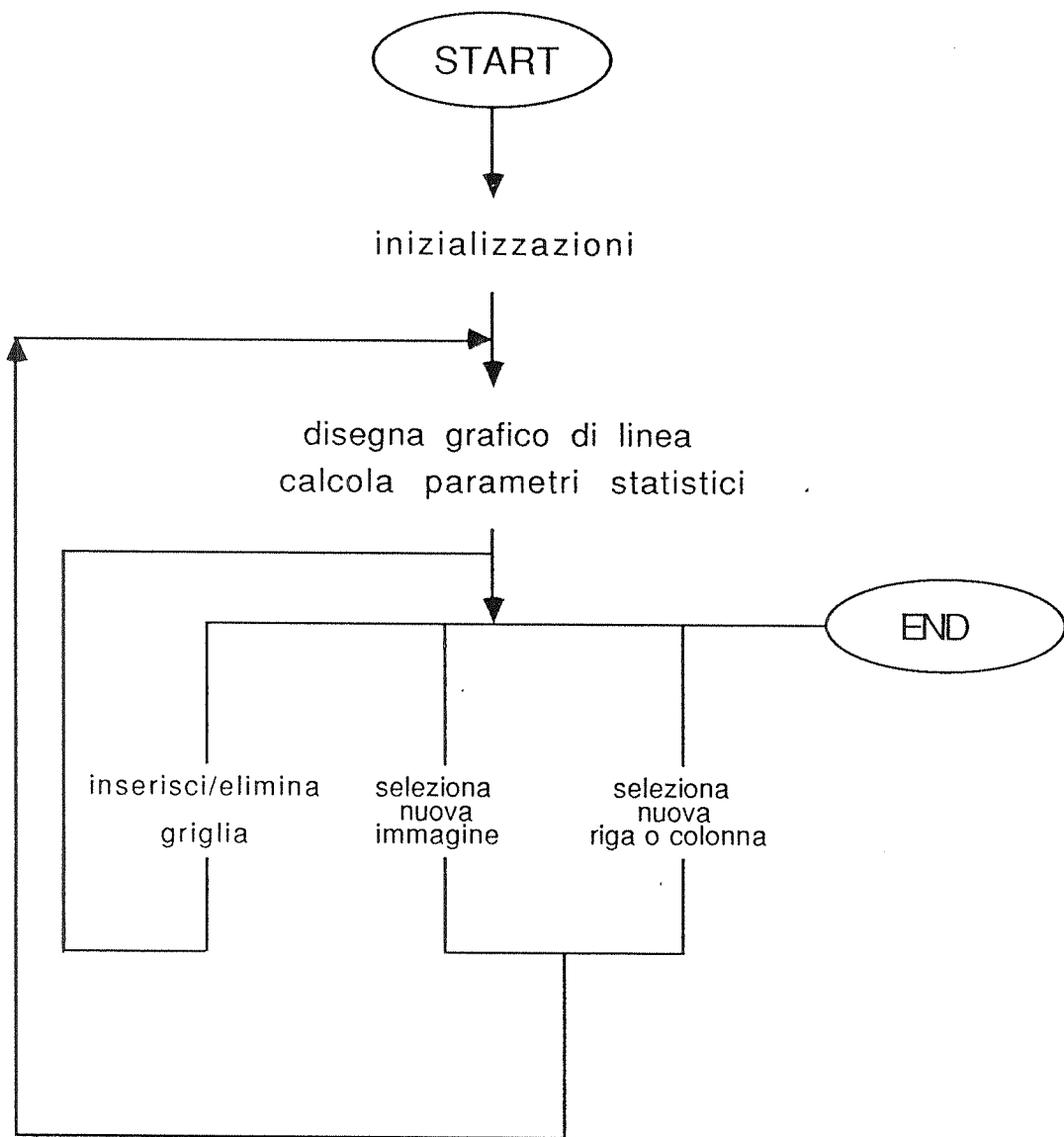
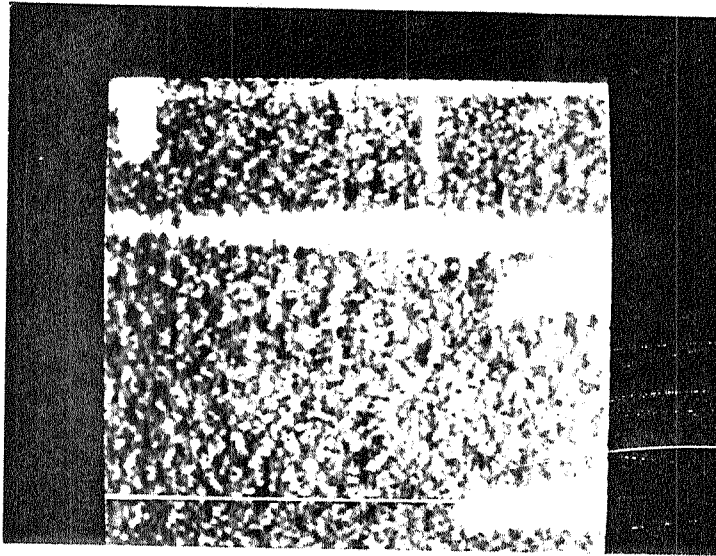


Diagramma a blocchi del modulo linea



OUT.SPOILER AT 10X

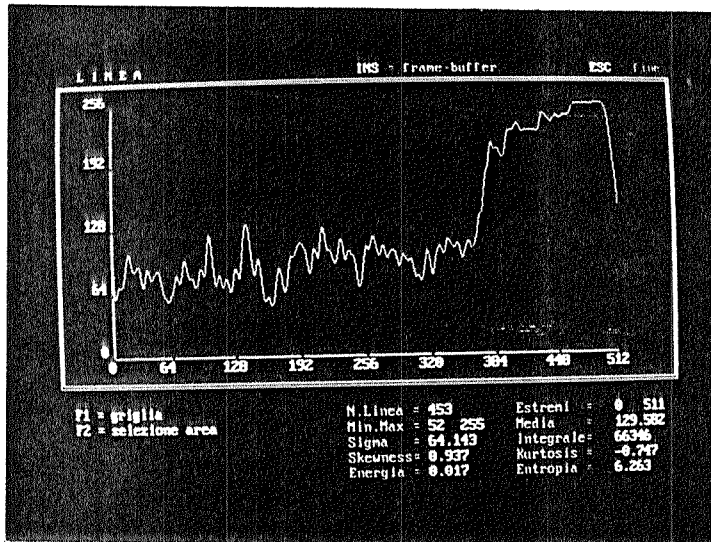


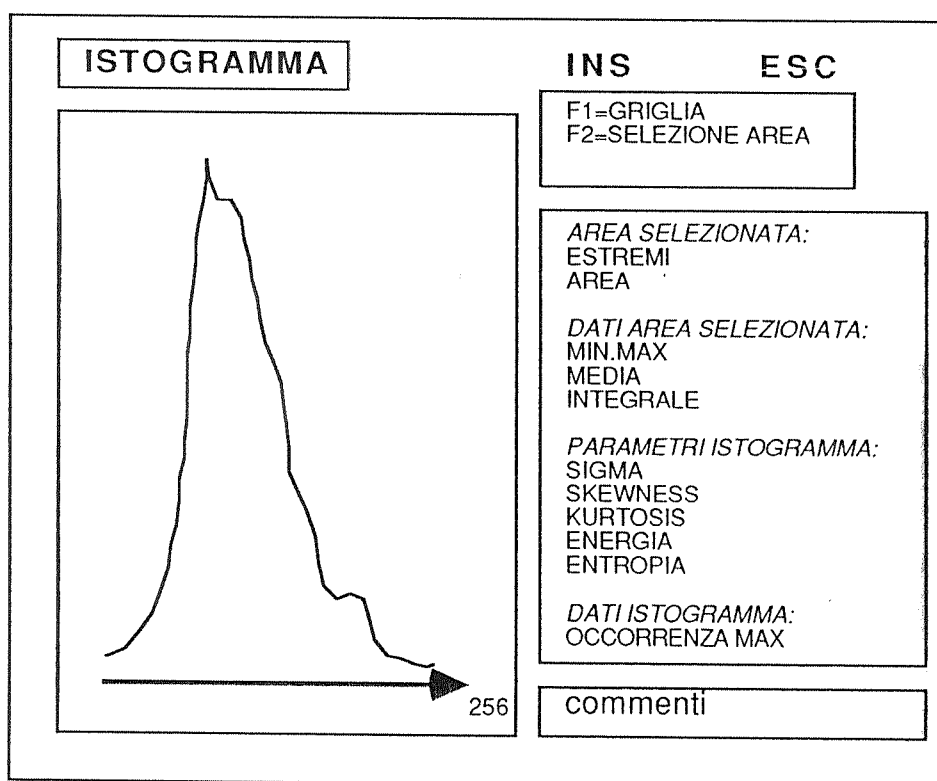
Grafico di linea

Modulo HISTO

Questo programma calcola la distribuzione delle frequenze dei valori radiometrici contenuti in un'area di immagine precedentemente selezionata, ne disegna il grafico (ISTOGRAMMA), e quindi, sempre relativamente all'area selezionata, calcola e visualizza una serie di parametri statistici.

Inizialmente tale area coprirà tutta l'immagine.

Al lancio del programma all'utente si presenterà un'interfaccia suddivisa come in figura 2.



Interfaccia del modulo histo

Lo schermo grafico viene suddiviso in diverse aree per una maggiore compattezza e chiarezza nella lettura dei dati.

Nell'area destinata all'istogramma viene visualizzato l'asse delle ascisse con riportati i valori della scala di grigi che si possono avere (256). L'asse delle ordinate viene sempre normalizzato prima di disegnare il grafico, secondo l'occorrenza massima trovata. Tale valore sarà riportato nella parte di schermo destinata ai parametri statistici, insieme ai valori calcolati di sigma, skewness, kurtosis, energia ed entropia.

Immediatamente sopra i valori calcolati dei parametri statistici, vengono riportati dati relativi all'area in esame. Più precisamente avremo:

- le coordinate degli angoli opposti della finestra selezionata sull'immagine;
- l'area, calcolata in pixels, della finestra stessa;
- il minimo e il massimo livello di grigio;
- la media aritmetica dei livelli di grigio;
- l'integrale, inteso come somma dei valori di tutti i pixels considerati.

Opzioni selezionabili dall'utente

Le opzioni selezionabili da parte dell'utente sono:

- INS** Seleziona la memoria di quadro e quindi l'immagine di lavoro
- ESC** Termina la sessione di lavoro
- F1** Digitando questo tasto funzione, o cliccando il tasto centrale del mouse, si sceglie di disegnare sul grafico una griglia di 32 pixels di lato. Per toglierla, basta nuovamente cliccare sul tasto centrale del mouse o digitare il tasto funzione F1.
- F2** Scegliendo F2, o analogamente, cliccando il tasto destro del mouse, si ha la possibilità di scegliere una nuova area di lavoro sull'immagine. I due vertici opposti della finestra si selezionano cliccando il tasto sinistro del mouse, o digitando il tasto ENTER da tastiera. L'utente è aiutato nella selezione dell'area da un commento che appare nell'ultima riga di testo dello schermo.

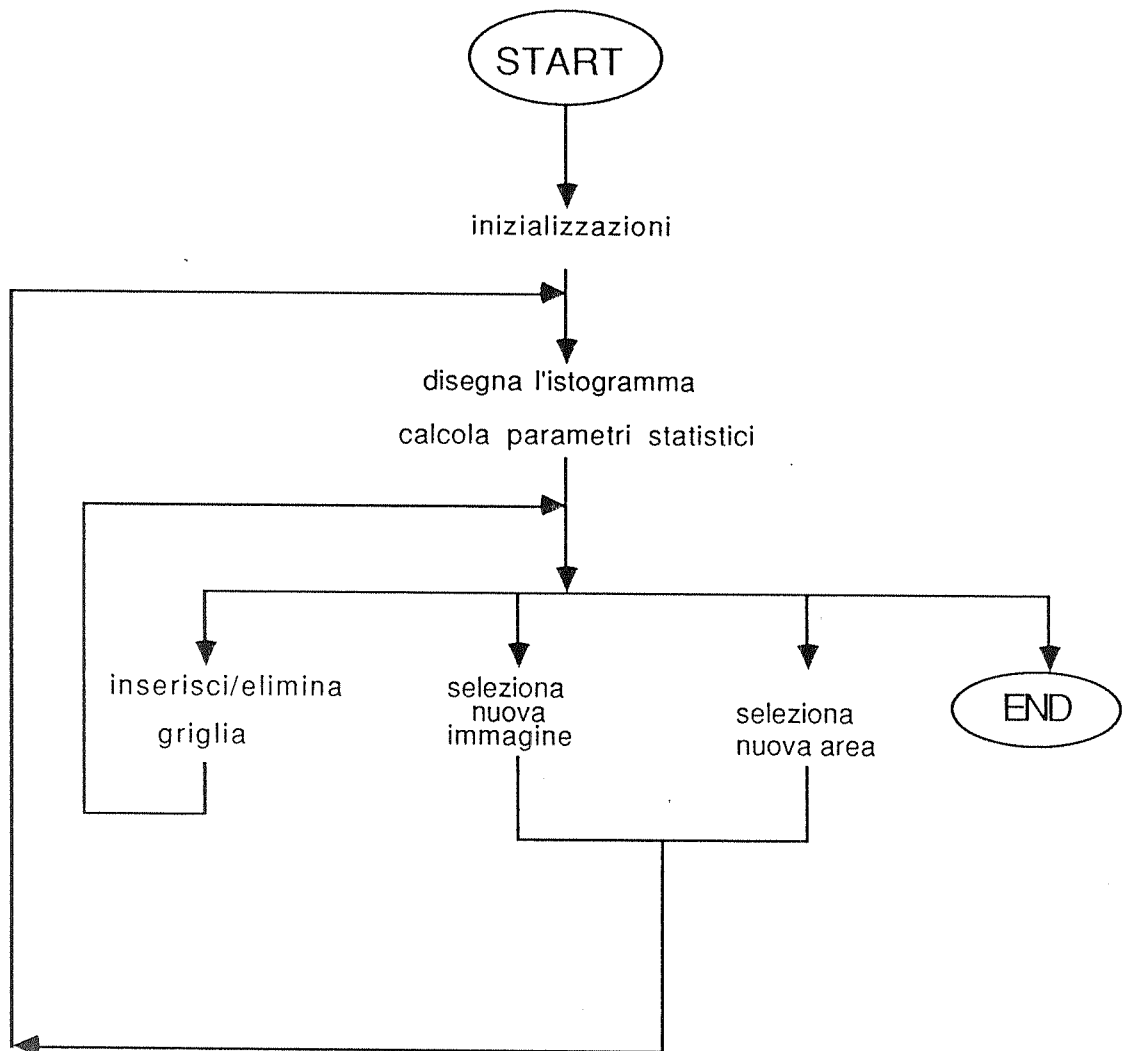
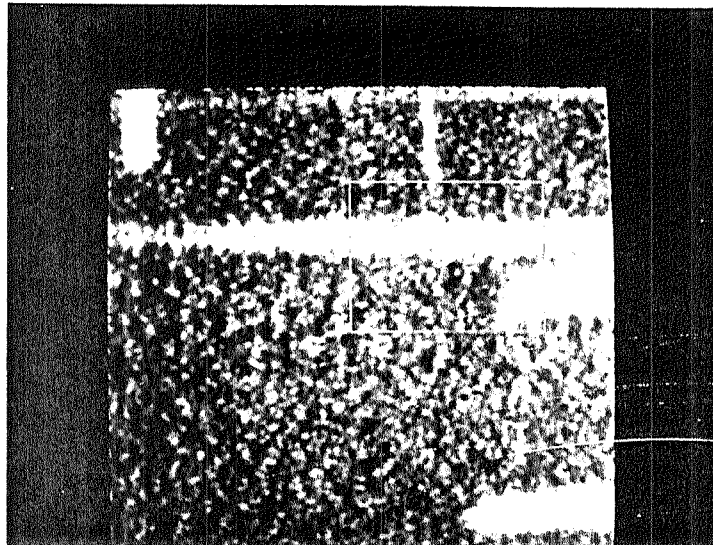
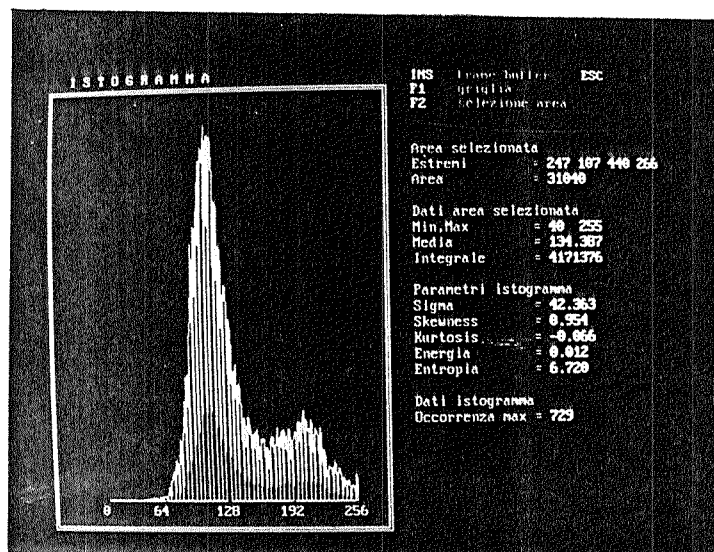


Diagramma a blocchi del modulo histo



OUT.SPOILER AT 10X



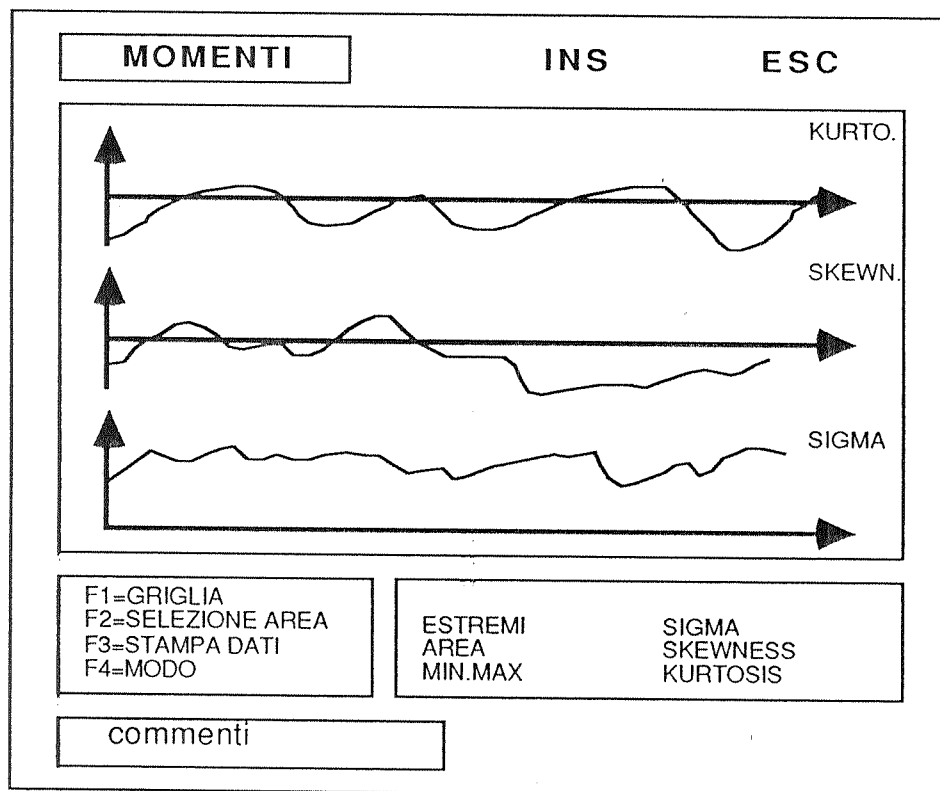
Istogramma dell'area selezionata sull'immagine

Modulo MOMENTI

Selezionata un'area sull'immagine di lavoro, se ne calcolano gli istogrammi di tutte le righe o di tutte le colonne e si memorizzano in tre array i valori calcolati di sigma, skewness e kurtosis.

La procedura momenti ha lo scopo di visualizzare contemporaneamente i grafici relativi ai valori dei parametri statistici sopra citati. Il pacchetto viene chiamato momenti in quanto sigma, skewness e kurtosis vengono definiti come momenti rispettivamente del secondo, terzo e quarto ordine rispetto alla media aritmetica.

Per poter visualizzare i tre grafici, si suddivide l'area destinata ad essi in tre parti e per ciascun grafico, si visualizzano gli assi cartesiani di riferimento.



Interfaccia del modulo momenti

Al lancio del programma verranno calcolati e visualizzati i grafici relativi ad un'area dell'immagine precedentemente definita di 100 pixels di lato.

Sull'asse delle ascisse viene riportato il numero di righe o di colonne prese in considerazione nell'analisi, mentre le ordinate verranno normalizzate ogni volta, prima della visualizzazione dei grafici, secondo il minimo ed il massimo valore calcolati per sigma, skewness e kurtosis. I valori di normalizzazione vengono quindi riportati affianco a ciascun grafico per facilitare l'utente nella loro lettura e ulteriore analisi.

Nell'area destinata alla visualizzazioni dei parametri, vengono riportate, oltre alle coordinate dei due vertici opposti della finestra selezionata, le dimensioni in pixels della finestra e minimo e massimo valore radiometrico trovato nell'area stessa.

Vengono inoltre visualizzati i parametri statistici sigma, skewness e kurtosis, calcolati questa volta su tutta l'area selezionata.

Opzioni selezionabili dall'utente

Le opzioni di cui dispone l'utente per quanto riguarda il pacchetto momenti sono:

- INS** Selezione della memoria di quadro su cui viene visualizzata l'immagine di lavoro
- ESC** Termina l'esecuzione del programma
- F1** Inserisce o toglie un reticolo sui tre grafici
- F2** Seleziona una nuova area dell'immagine su cui si intende lavorare
- F3** Possibilità di inviare a stampante tutti i valori di sigma, skewness e kurtosis che hanno contribuito a disegnare i grafici relativi, oltre ai parametri statistici visualizzati sul monitor grafico
- F4** Scelta del modo di lettura dell'area di lavoro: può infatti essere scandita per righe o per colonne.

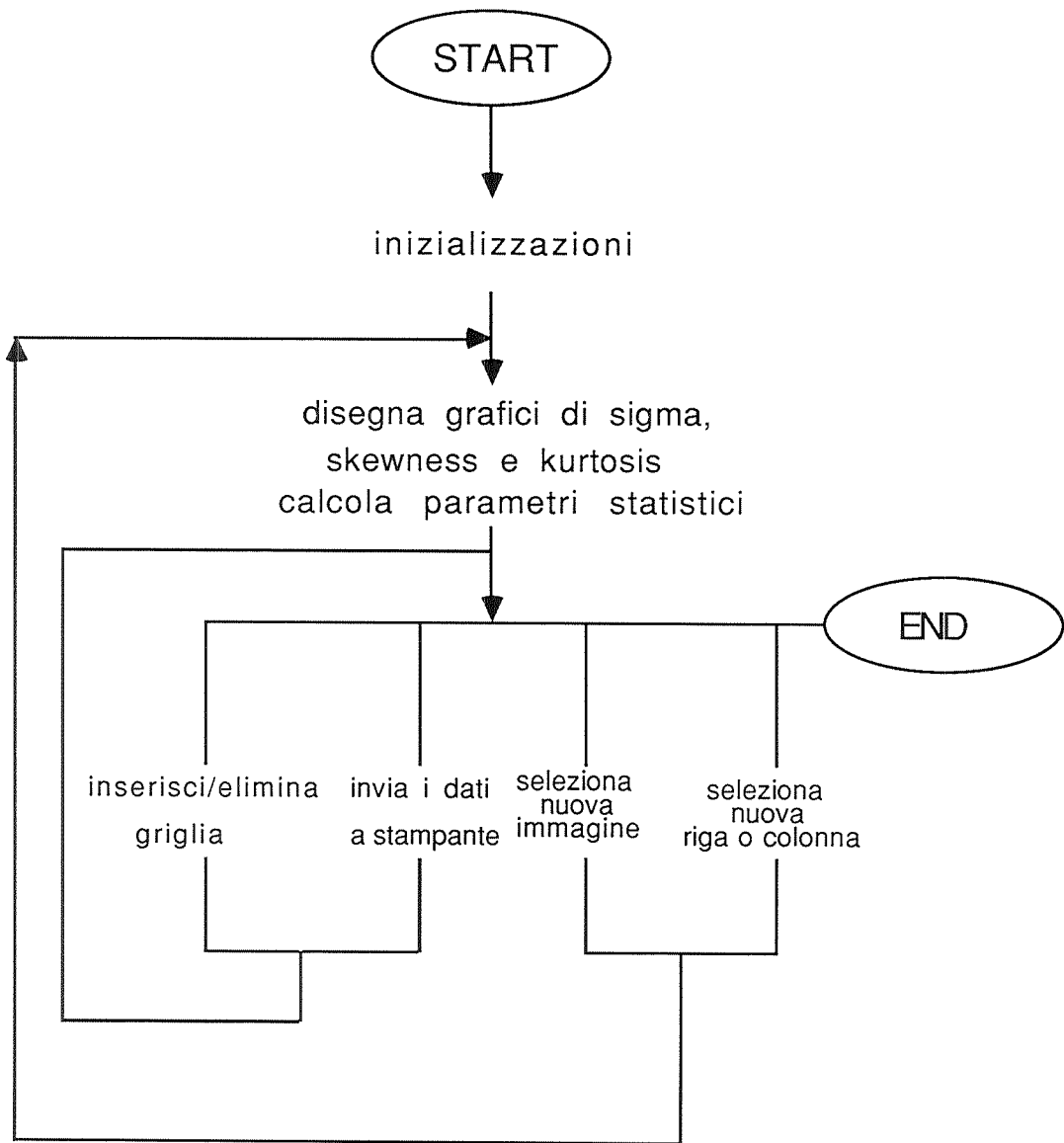
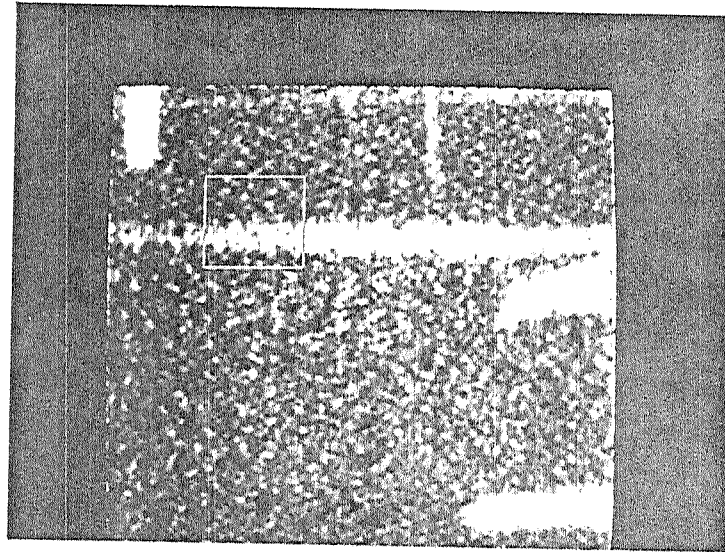
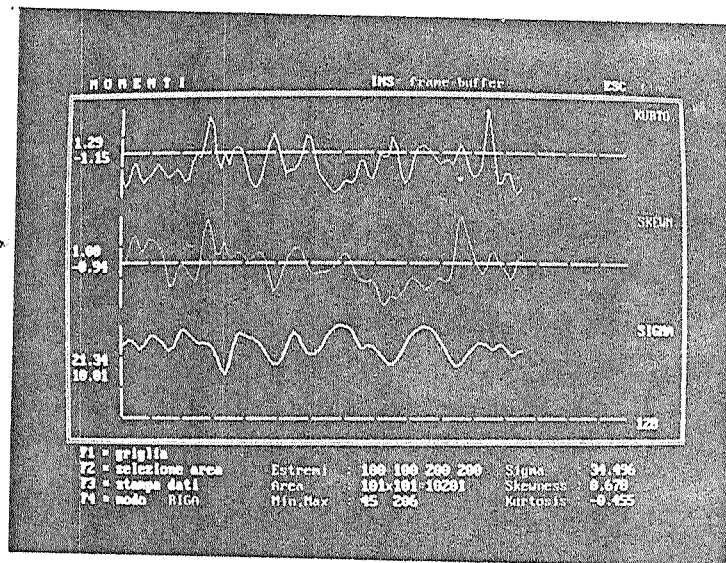


Diagramma a blocchi del modulo momenti



OUT.SPOILER AT 10X



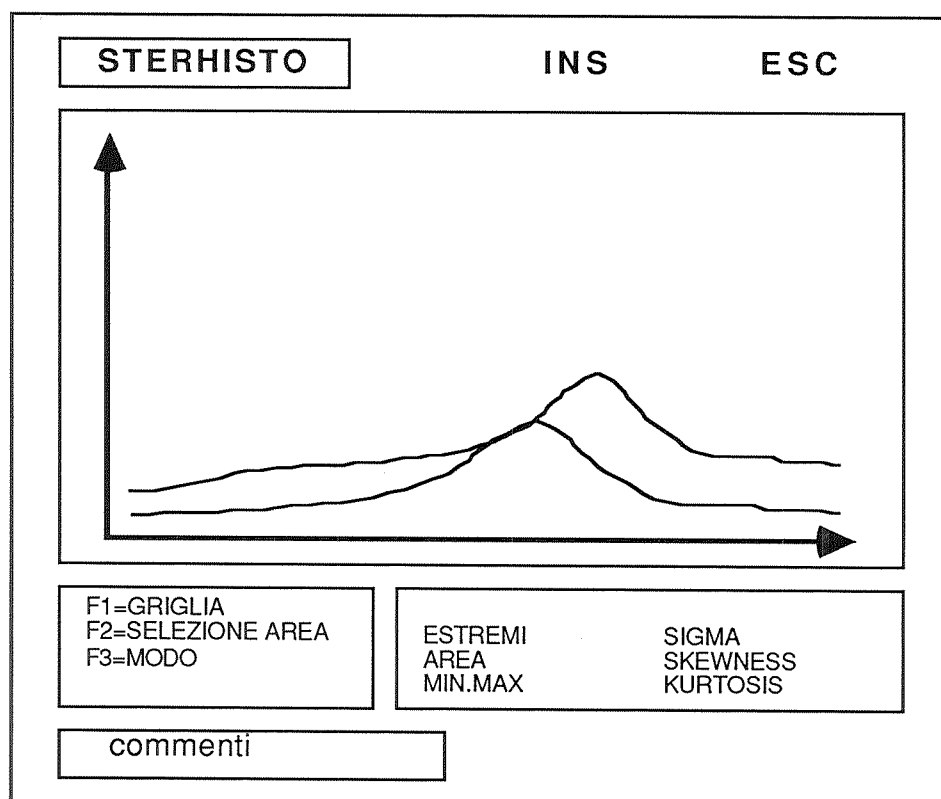
Grafici di sigma, skewness e kurtosis relativi alla porzione di immagine selezionata

Modulo STERHISTO

Il pacchetto Sterhismo visualizza in pseudo 3D (stereogramma) gli istogrammi di tutte le righe (o di tutte le colonne) di un'immagine digitale o di una sua porzione.

Nell'area destinata alla visualizzazione del grafico viene disegnato un sistema di assi cartesiani in cui sull'asse x, su cui sono riportati i 256 livelli di grigio di un'immagine monocromatica e sull'asse y l'indice delle righe (o colonne) dell'immagine di cui si generano gli istogrammi.

Al lancio del programma l'interfaccia utente si presenterà suddivisa come in figura.



Interfaccia del modulo sterhismo

Nell'area di schermo destinata ai dati numerici, vengono riportati di volta in volta i valori dei parametri statistici relativi alla finestra selezionata.

Sigma, skewness e kurtosis vengono calcolati in base all'istogramma dell'intera porzione di immagine selezionata per l'analisi.

Opzioni selezionabili dall'utente

Per quanto riguarda il modulo Sterhisto, le opzioni selezionabili dall'utente sono:

- INS** Seleziona la memoria di quadro e quindi le immagini su cui lavorare
- ESC** Termina l'esecuzione del programma
- F1** Inserisce o toglie un reticolo sul grafico (analogamente, il tasto centrale del mouse)
- F2** Seleziona una nuova finestra sull'immagine di lavoro (analogamente il tasto destro del mouse). La selezione dei due vertici della finestra viene fatta:
 - da mouse premendo il tasto sinistro;
 - da tastiera premendo il tasto RETURN;
- F3** Selezionare il modo di lettura della matrice immagine e quindi il modo di calcolo e visualizzazione degli istogrammi che quindi può essere fatto per RIGA o per COLONNA.

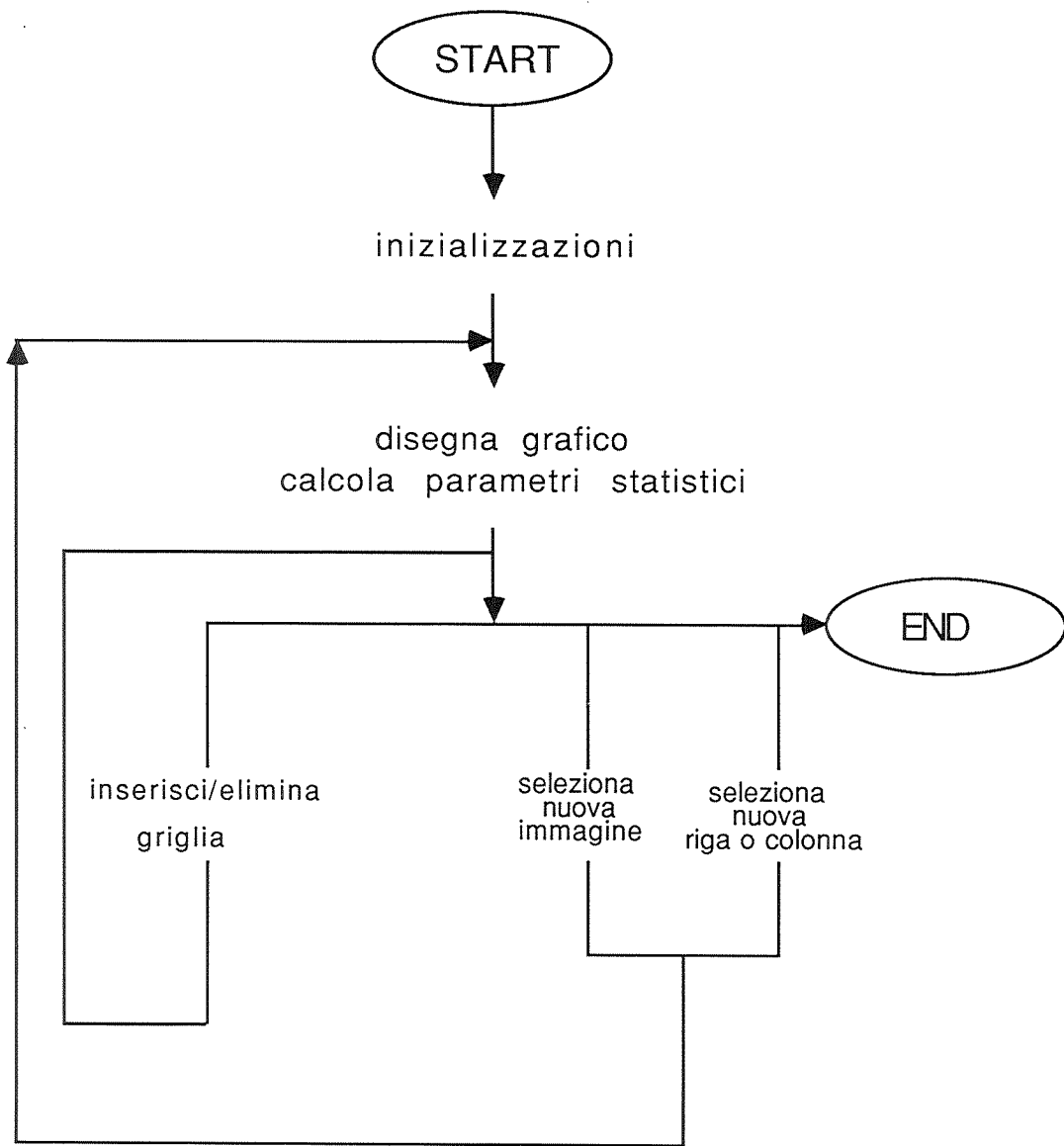


Diagramma a blocchi del modulo sterhisto

Ringraziamenti

Si ringraziano la Sig.ra M. Ballati e il Sig. R. Panicucci per la preziosa collaborazione prestata nella stesura del presente lavoro.

Bibliografia

- 1) Murray R. Spiegel: "Statistica". Etas, 1976.
- 2) Pratt W.: "Digital Image Processing". Interscience, 1978.
- 3) Fause R., Kampann A., Denis M.: "Papin - Manuale di matematica". ISEDI, 1975.
- 4) Jae S. Lim: "Two dimensional signal and image processing". Prentice Hall International, 1990.
- 5) John R. Taylor: "Introduzione all'analisi degli errori". Zanichelli, 1986.
- 6) Wayne Niblack: "An introduction to Digital Image Processing". Prentice Hall International, 1986.