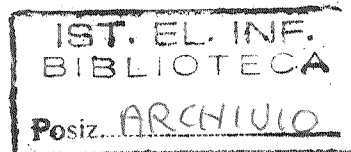


Consiglio Nazionale delle Ricerche



**ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE**

PISA

*Collaborazione tecnico-scientifica
Aeritalia-GAT/IEI-CNR*

**UN PACKAGE PER L'IMAGE ENHANCEMENT
SUL SISTEMA SVP 2000**

D. Borgioli, M. Chimenti, L. Azzarelli

Nota Interna B4-63

Dicembre 1990

Introduzione

Prima ancora di iniziare un processo di elaborazione su un'immagine, specialmente in presenza di scene poco comprensibili per mancanza di contrasto, bassa luminosità, ecc., è utile una pre-elaborazione dell'immagine volta specificatamente al miglioramento della sua qualità complessiva o di certi particolari da un punto di vista anche semplicemente visivo. In questa fase di pre-elaborazione, l'osservatore può perciò meglio apprezzare certe caratteristiche dell'immagine e quindi rendere più mirata la successiva elaborazione. Il miglioramento della qualità visiva è però un processo dai risultati estremamente incerti e soggettivi, dipendente sia dall'immagine che dall'osservatore. Per questo un processo di pre-elaborazione genericamente rivolto all'enhancement deve possedere due requisiti fondamentali tra loro correlati:

- l'interattività
- la velocità

poiché in pratica il miglioramento avviene per tentativi guidati dall'osservatore.

Il pacchetto "Image enhancement" si compone di 6 programmi che basano il loro funzionamento su tre diverse tecniche di miglioramento della qualità visiva :

- modifica dell'istogramma
- manipolazione del contrasto
- filtraggio digitale

Modifica dell'istogramma

Un metodo abbastanza veloce e potente per ottenere un miglioramento della qualità dell'immagine è la modifica dell'istogramma. Questo consiste, a grandi linee, nel ridurre i livelli di grigio in uscita, facendo in modo che l'istogramma risultante segua un andamento prefissato.

Esistono al riguardo diverse proposte sulle curve da far seguire all'istogramma anche se nessuna di queste si può ritenere la migliore in assoluto sia per la soggettività del risultato di cui si diceva sopra, sia per la mancanza di ipotesi sul tipo di immagine da trattare.

Comunque si possono riassumere le varie proposte nelle quattro curve "fondamentali" (a), (b), (c), (d) di Fig. 1.

A queste poi possiamo aggiungere le rette (e), (f), (g), per le quali si nota come (f) e (g) sono il caso intermedio, rispettivamente, tra (a) e (b), mentre la (e) corrisponde all'operazione di equalizzazione.

Infine si considera, come caso a parte, la funzione logaritmo, il cui grafico è riportato in (h).

Per quanto riguarda poi le quattro curve fondamentali, definiamo la funzione che le descrive

$$H(l) = K \cdot l^n \quad (1)$$

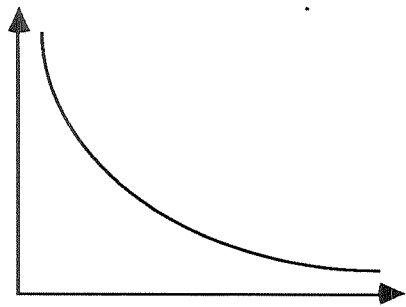
dove l è un livello di grigio, n è un parametro e k è un fattore tale che:

$$\sum_{i=1}^{lg} H(l_i) = DIM \quad (2)$$

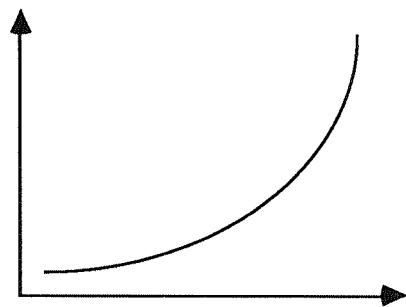
e quindi

$$k = \frac{DIM}{\sum_{i=1}^{lg} l_i^n} \quad (3)$$

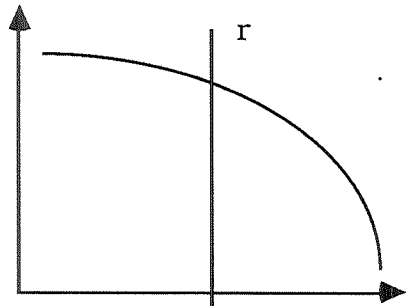
con DIM = dimensione in pixel dell'immagine e $\{l_i \mid i=1 \dots lg\}$ insieme dei livelli di grigio in uscita.



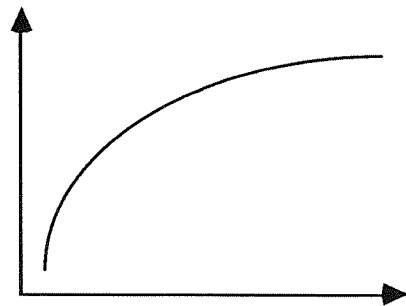
(a)



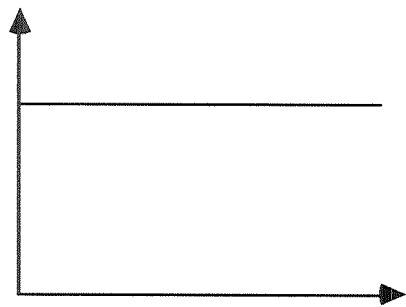
(b)



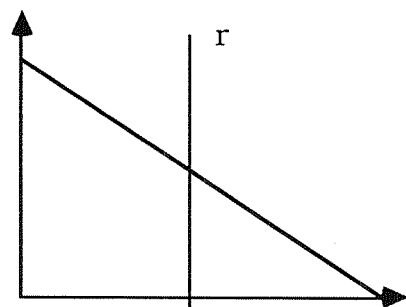
(c)



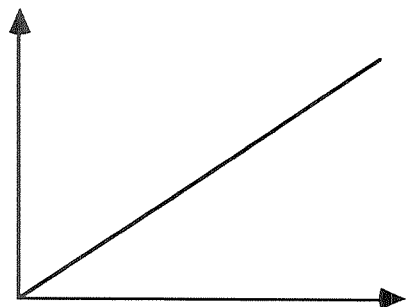
(d)



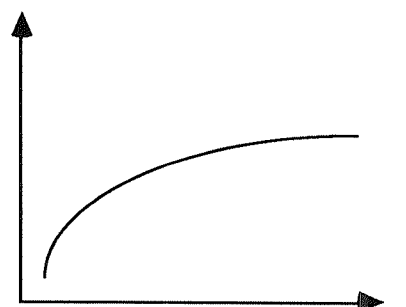
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 1

Si può verificare facilmente la corrispondenza tra le curve (a) - (g) e la funzione H scegliendo opportuni valori di n. In particolare ad

$n < 0$	corrisponde la figura	(a)
$n = 0$	" " "	(e)
$0 < n < 1$	" " "	(d)
$n = 1$	" " "	(g)
$n > 1$	" " "	(b)

La descrizione delle curve (c) e (f) è data dalla funzione H'

$$H'(l) = H(l_{1g} + l_i - 1) \quad (4)$$

Infatti si osserva che (c) e (f) sono simmetriche a (d) e (g) rispetto alla retta r.

Quindi, per la funzione H', la corrispondenza tra valori di n e le curve è la seguente :

$0 < n < 1$	corrisponde alla figura	(c)
$n = 1$	" " "	(f)

La descrizione della curva (h) è data da

$$H(l) = K \cdot \log(l) \quad (5)$$

dove k è una costante. Si noti come in questo caso non compare la variabile n.

Funzionamento di HISMOD

Il programma HISMOD, in base all'istogramma originale dell'immagine da trattare, ricerca la migliore approssimazione possibile di una delle curve viste sopra. Si parla di approssimazione e non di matching esatto in quanto abbiamo a che fare con quantità discrete (la popolazione di pixel ai vari livelli) che, tra l'altro, possono avere valori molto alti rispetto alla media dell'immagine e

quindi difficilmente adattabili alle curve che fanno da modello per l'istogramma. In generale, l'approssimazione risulta migliore diminuendo il numero dei livelli di grigio in uscita e trattando immagini con istogramma ampio (cioè con pochi livelli di grigio vuoti) e abbastanza uniforme.

In particolare il programma calcola l'istogramma "ideale", cioè le popolazioni che i livelli di grigio in uscita dovrebbero avere per seguire la funzione H , quindi raccoglie in un unico livello l_j un certo numero di popolazioni di pixel dell'immagine originale cercando di minimizzare la differenza con il valore corrispondente nell'istogramma ideale.

Più formalmente, il programma esegue una partizione dell'insieme $I=\{I_{\min} \dots I_{\max}\}$ dei livelli di grigio d'ingresso negli insiemi

$$P_j=\{I_{j_1} \dots I_{j_{\max}}\} \quad j=1,2 \dots lg.$$

Detto HS l'istogramma originale, si costruisce la partizione in modo che

$$\forall j \quad \left| \sum_{k=j_1}^{j_{\max}} HS(I_k) - H(I_j) \right| \quad (6)$$

sia minimo.

Il significato "reale" di questa partizione è che se $I_k \in P_j$ allora a tutti i pixel con luminosità k viene assegnata una luminosità j .

Alla condizione (1) si aggiunge il vincolo $P_j = \emptyset \Rightarrow P_i = \emptyset \quad \forall i > j$ per garantire che ad ogni livello di uscita corrisponda almeno un livello d'ingresso. Infatti, nel caso di immagini con picchi notevolmente più alti della media, rispettando solo la (1) (ad esempio per equalizzare) si costruirebbero delle partizioni vuote, finendo poi per accumulare gran parte dei livelli nell'ultima partizione, con un effetto contrario a quello voluto e deleterio per la qualità dell'immagine.

Utilizzo di HISMOD

HISMOD configura il sistema SVP2000 in modo monocromatico con dimensioni delle immagini 512x512 pixel. In questo ambiente sono perciò disponibili 8 frame-buffer, dei quali però uno (il n° 7) è destinato alla visualizzazione dell'istogramma, per cui le immagini che si vogliono trattare con la modifica dell'istogramma devono essere caricate nei frame compresi tra 0 e 6.

Il diagramma a blocchi dell'algorithmo di HISMOD è illustrato in fig. 2. Tutte le opzioni del programma sono richiamabili tramite la pressione di un singolo tasto ed in ogni momento un menù di help fornisce la lista di tutte le funzioni richiamabili nell'ambiente presente.

Particolare enfasi è stata posta sull'uso dei tasti cursore e <CR>; infatti in fase di elaborazione dell'immagine i tasti cursore modificano il valore di n ed il passo con cui n viene incrementato o decrementato, mentre in fase di selezione delle opzioni (frame, livelli di grigio, formula, ecc.) le frecce a destra e a sinistra permettono di scorrere le possibili scelte, la cui conferma avviene con <CR>.

In questo modo si è cercato di rendere minimo l'uso dei tasti alfabetici che comunque sono utilizzati per selezionare queste opzioni:

- i visualizzazione dell'istogramma
 - o visualizzazione dell'immagine originale
 - c cambio della formula
 - g selezione dei livelli di grigio in uscita
 - f selezione del frame-buffer
 - e equalizzazione dell'istogramma
 - q quit: uscita dal programma
- <SPACE> scrittura dell'immagine modificata in un frame da selezionare
- <CR> scrittura dell'immagine modificata nel frame presente

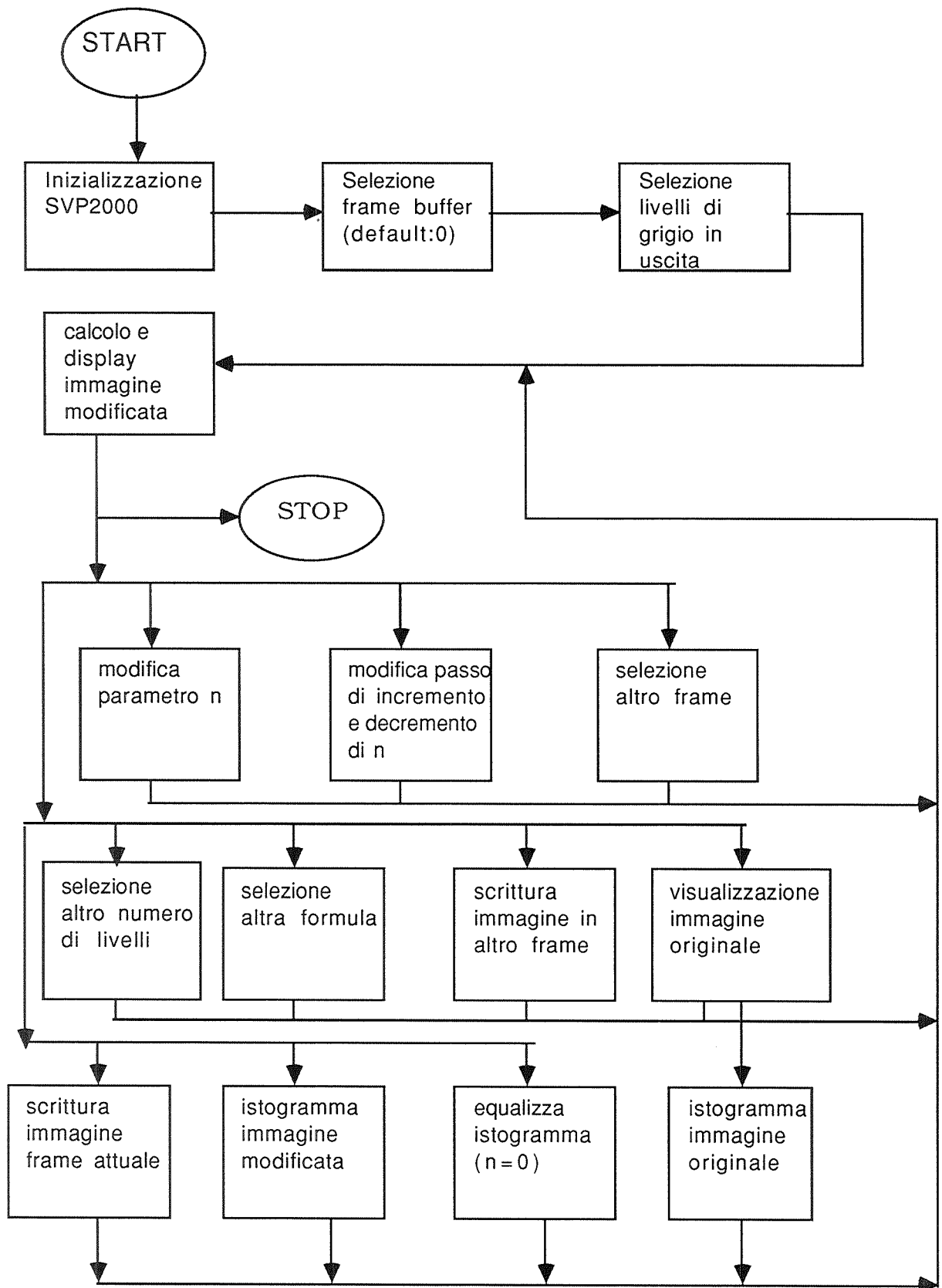


Figura 2
7

Si fa notare, poi, che l'uso dei tasti cursore è facoltativo, essendo le stesse funzioni svolte dal tastierino numerico, tasto <ENTER> compreso.

In ogni momento il programma riporta sul monitor alfanumerico una serie di informazioni sull'ambiente attuale:

- il frame attualmente utilizzato
- il numero dei livelli di grigio in uscita
- il valore del passo di incremento/decremento di n
- la formula in uso per la modifica dell'istogramma ed il valore di n.

Utilizzo di WINMOD

Il programma WINMOD permette di rappresentare immagini con istogramma modificato solo in finestre rettangolari di dimensioni e posizione selezionabili dall'utente. Il suo uso è perciò rivolto all'enhancement di zone particolari di una immagine, specie in situazioni in cui esaltare certi particolari di una scena può significare la perdita di informazione in altre zone dell'immagine.

Per avere la possibilità di modificare la rappresentazione di una zona dell'immagine, è stato necessario configurare il sistema SVP2000 in modo multicromatico, con il canale ausiliario attivato e con immagini di dimensione 512x512. Il canale ausiliario, infatti, permette di selezionare le LUT (Look-Up Tables) di uscita dell'immagine pixel a pixel, ovvero di associare ad ogni pixel, in base alla posizione, una certa lut. Questa possibilità viene sfruttata in WINMOD selezionando per la finestra in cui si vuole effettuare l'elaborazione una lut diversa (la n° 255) dalla lut standard (n° 0) e quindi modificando proprio la lut n° 255 in modo da avere in restituzione l'immagine con l'istogramma modificato nella finestra scelta.

La configurazione in modo multicromatico è completamente trasparente per l'utilizzatore, in quanto tutti e tre i canali (red, green, blue) del video bus dell'SVP2000, che indirizzano i dati dell'

immagine verso il monitor, vengono "forzati" a leggere i dati da uno stesso frame, ottenendo quindi una immagine monocromatica. Questa "forzatura" è resa possibile dalla presenza nel sistema SVP2000 di un dispositivo detto Multiplexer del colore, che, in pratica, permette di associare ogni canale del video bus ad un qualsiasi frame della memoria video. Unica conseguenza per l'utente di WINMOD è la disponibilità di 6 frame per le immagini da elaborare; infatti i frame n° 3 e 7 servono per la visualizzazione dell'istogramma e per la conservazione dei dati per il canale ausiliario.

A parte questa limitazione, WINMOD permette tutte le operazioni previste da HISMOD, alle quali vanno aggiunte le funzioni per la creazione e la gestione di finestre sull'immagine. In particolare, come si può vedere dal diagramma a blocchi semplificato di fig. 3, sono presenti le funzioni di apertura di una nuova finestra e di scrittura della finestra modificata in un frame diverso. Quest'ultima opzione, poi, permette di riposizionare la finestra contenente l'immagine elaborata in una posizione qualsiasi all'interno del frame scelto ed è quindi un primo strumento per l'editing di immagini, come pure un aiuto per la valutazione e il confronto dei risultati dell'algoritmo

Rispetto a HISMOD i tasti cursore e alfabetici mantengono lo stesso significato, con la differenza che:

- <SPACE> scrive la finestra modificata in un frame e in una posizione a scelta
- w interrompe l'elaborazione in corso e apre una nuova finestra sulla stessa immagine

Da notare infine il modo di operare delle routine di posizionamento sull'immagine. I cursori disegnati sul monitor (crocette o rettangoli) si possono muovere con i tasti cursore e con la <SPACE> che ha il significato di ripetizione automatica dell'ultimo movimento eseguito; la ripetizione continua fino ad una nuova pressione dello <SPACE> o fino ad incontrare un bordo. E` possibile

scegliere la lunghezza del passo elementare di movimento tra 1 e 5 pixel usando il tasto funzione PF1. In ogni situazione, <CR> fissa il cursore sulla posizione raggiunta.

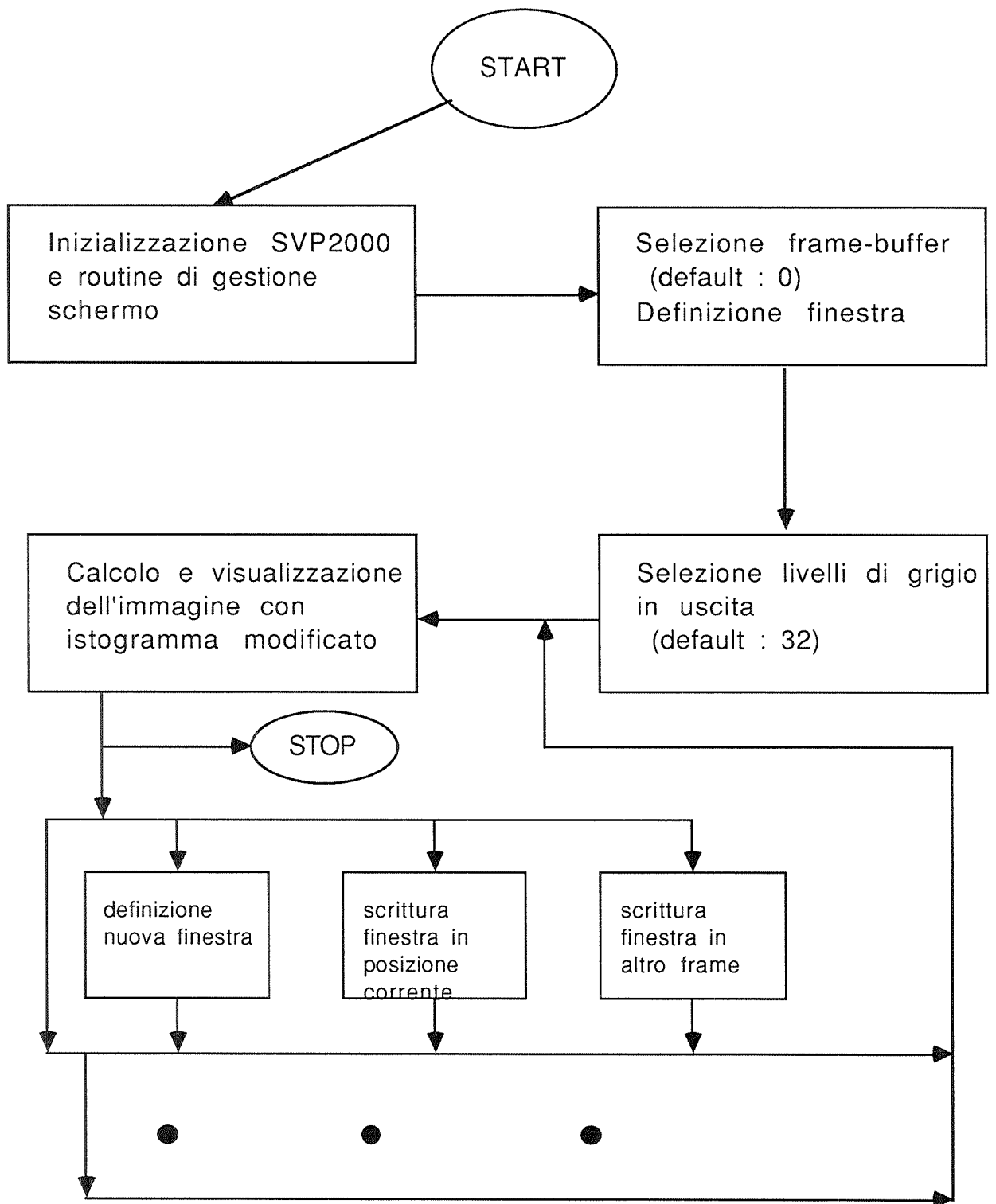


Figura 3

Manipolazione del contrasto

La scarsa comprensibilità di alcune immagini digitali è spesso dovuta ad una distribuzione non ottimale dei pixel nei livelli di grigio. Disegnando l'istogramma di tali immagini si noterà come gran parte della popolazione di pixel è distribuita in zone ristrette della dinamica, mentre molti livelli di grigio risultano scarsamente o per niente popolati. E' possibile correggere questi difetti agendo sul contrasto e sulla luminosità per cercare di espandere l'istogramma e quindi separare i livelli di grigio.

Consideriamo un'immagine digitale i cui valori di luminosità siano compresi tra 0 e 255 ed un sistema che ne permetta la restituzione con valore dei livelli di grigio che variano tra 0 e 255. La rappresentazione deve essere controllata da una funzione di mapping che associ ad ogni valore di luminosità (dato di input) un livello di grigio in uscita (dato di output). La funzione di mapping elementare è raffigurata in figura 4 ed è la funzione identica $output=input$.

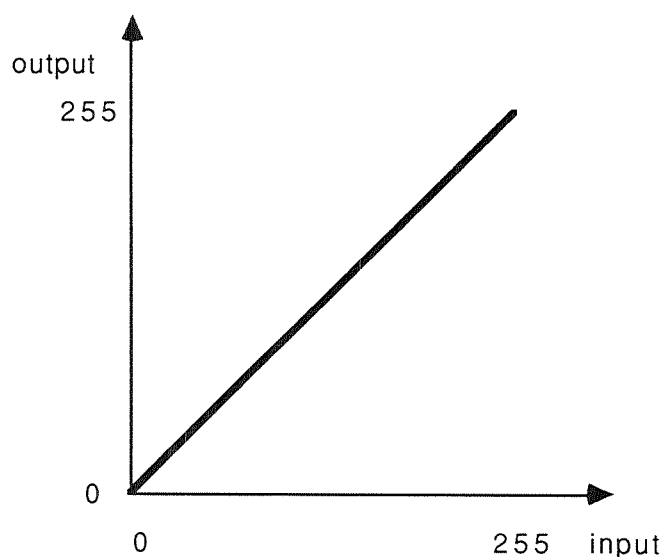


Fig. 4

In generale però sono funzioni di mapping valide tutte quelle applicazioni il cui dominio e codominio sia $[0 - 255]$.

Un primo tipo di funzione utile per l'enhancement di una immagine è quella lineare di figura 5 il cui effetto è di rappresentare

rispettivamente in nero e in bianco i pixel con valore di luminosità minore di min e maggiore di max, ma espandendo linearmente su tutta la dinamica i pixel compresi tra min e max; è ovvio quindi che c'è una certa perdita di informazione se ci sono dei pixel fuori dall'intervallo [min - max].

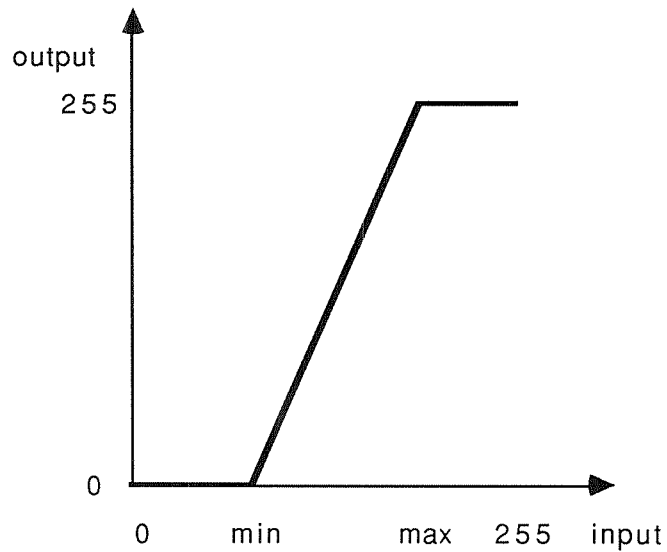


Fig. 5

Il secondo tipo di funzione presa come funzione di mapping è il logaritmo (v. fig. 6) che tende ad espandere i valori più bassi della dinamica e ad appiattire quelli più alti.

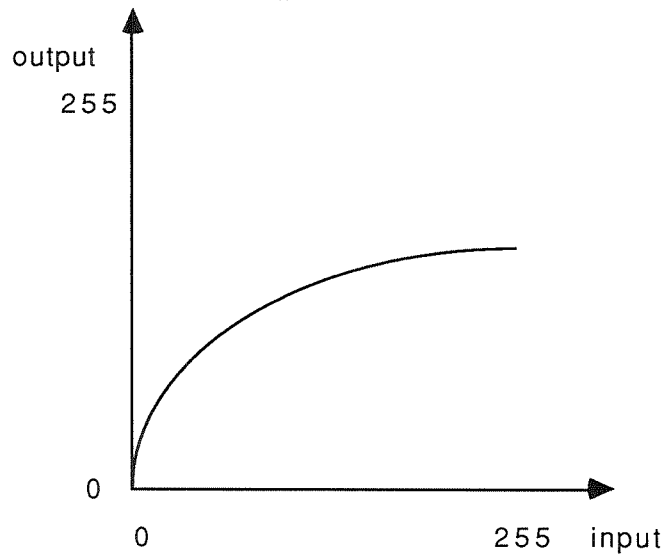


Fig. 6

Infine si è considerata la funzione simmetrica del logaritmo il cui funzionamento è analogo a quello del logaritmo, ma con l'effetto supplementare di invertire l'immagine (v. fig. 7).

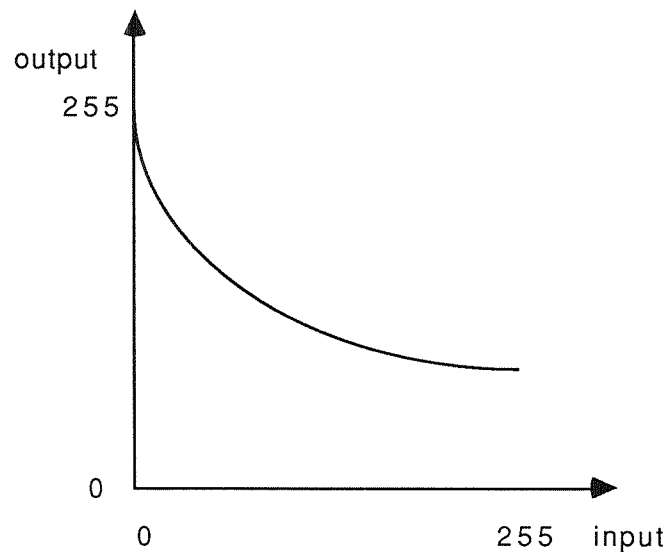


Fig. 7

Si noti che queste due ultime funzioni non dipendono da nessun parametro.

Funzionamento di LINEAR

Il programma LINEAR permette di modificare la rappresentazione delle immagini in base alla prima delle tre funzioni di mapping descritte sopra. La funzione lineare (o meglio "spezzata") viene individuata interattivamente tramite il movimento dei due punti min e max. Detti cursori possono assumere anche valori al di fuori dell'intervallo [0 - 255] per individuare funzioni come quella di figura 8 altrimenti non descrivibili.

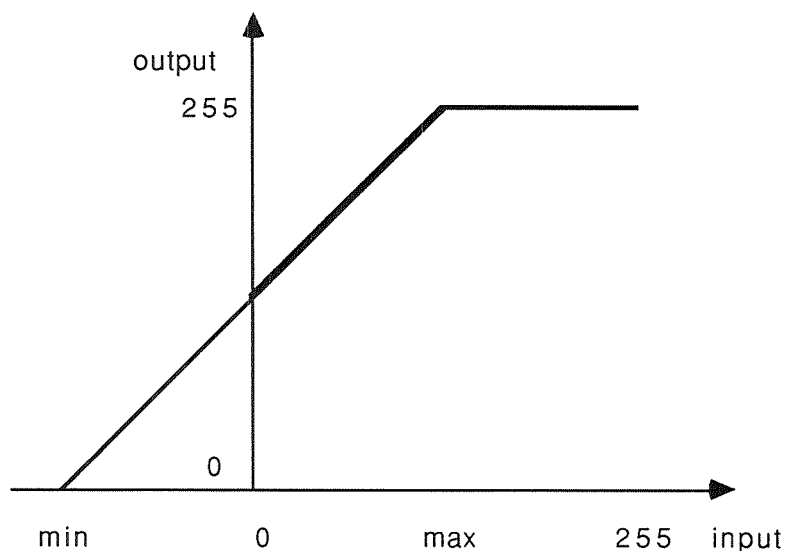


Fig. 8

Utilizzo di LINEAR

Il sistema SVP2000 è configurato esattamente come in HISMOD, mettendo quindi a disposizione dell'utente i frame da 0 a 6. Il diagramma a blocchi di LINEAR è mostrato in figura 9. Come in HISMOD, la presenza di un menu` di help indica in ogni momento le possibili azioni. In particolare, si è scelto di far muovere singolarmente i cursori min e max attraverso i tasti freccia (o con il tastierino numerico), mentre con i tasti 7 e 9 è possibile shiftare l'intera funzione di mapping a destra o a sinistra; in ogni caso i valori di min e max sono continuamente aggiornati sul monitor alfanumerico. Il significato degli altri tasti è il seguente:

- f seleziona un altro frame buffer
- o visualizza l'immagine originale
- i visualizza l'istogramma e la funzione di mapping
- e espansione massima: si assegnano a min e max i valori del minimo e del massimo dell'istogramma originale

- r reset: si assegnano a min e max i valori 0 e 255
- c attivazione/disattivazione della colorazione del limite di scala
- q quit: uscita dal programma
- <SPACE> scrittura dell'immagine modificata in un frame da selezionare
- <CR> scrittura dell'immagine modificata nel frame presente

Riguardo la colorazione del limite di scala, questa opzione (attiva per default) è usata per evidenziare la quantità di pixel che sono mappati in nero (visualizzati in blu) ed in bianco (visualizzati in rosso); questa opzione però non influenza comunque la scrittura in memoria video, per cui una immagine con zone colorate, copiata in un frame tramite LINEAR, risulterà sempre monocromatica.

Utilizzo di WINLIN

Analogamente a quanto fatto con HISMOD, anche a LINEAR è stato affiancato un programma dalle identiche funzionalità operante su finestre rettangolari dell'immagine. Questo programma è WINLIN e per quanto riguarda configurazione del sistema e caratteristiche è assolutamente identico a WINMOD (esclusa ovviamente la sezione propriamente elaborativa), per cui si rimanda a WINMOD per una descrizione dei modi di funzionamento e delle opzioni aggiunte rispetto a LINEAR.

Descrizione di LOG

Il programma LOG permette di sperimentare le funzioni di mapping di figura 6 e 7 sulle immagini caricate in memoria video. Per quanto riguarda la configurazione valgono le stesse considerazioni fatte per HISMOD.

L'algoritmo di LOG è ovviamente semplificato rispetto ai programmi visti sopra, non esistendo infatti la possibilità di modificare la curva del logaritmo ma solo di scegliere tra la formula base e quella per il logaritmo simmetrico. Anche in questo caso, comunque, la presenza di un menù di help descrive le opzioni possibili, che sono:

- f selezionare un frame-buffer
- c selezionare la formula per la funzione di mapping
- i vedere l'istogramma e il grafico della funzione di mapping
- o vedere l'immagine originale
- q quit: uscita dal programma
- <CR> scrivere in memoria video

Filtraggio digitale

L'uso di filtri digitali per ottenere un miglioramento della qualità visiva delle immagini è un procedimento tra i più usati e sperimentati in image processing e non sarà certo utile spiegare qui in cosa consiste una operazione di filtro e quali siano le caratteristiche dei diversi tipi di filtro. E invece utile sottolineare due problemi che si possono incontrare al momento di filtrare un'immagine per ottenere un miglioramento:

- 1) la difficoltà di individuare, per ogni immagine, il filtro o la sequenza di filtri più adatta
- 2) la necessità, a volte, di usare filtri diversi in zone diverse dell'immagine.

Funzionamento di WINCON

Il programma WINCON permette di effettuare l'operazione di convoluzione tra una finestra (mobile) dell'immagine ed una maschera definibile dall'utente. La possibilità di intervenire

interattivamente sia sulle zone dell'immagine sia sui dati del filtro fa di WINCON uno strumento rivolto proprio alla soluzione dei due problemi di cui sopra.

Infatti, per il punto 1), WINCON può servire come editor, archivio e test per filtri digitali rappresentati come maschere di dimensione 3x3, 5x5 o 7x7.

Per il secondo problema, potendo scegliere in quali zone dell'immagine muovere la finestra su cui opera la convoluzione, WINCON permette di "ridisegnare" certi particolari di una scena. L'accuratezza sale fino ad un pixel, poiché è possibile definire maschere 1x1 che in pratica funzionano come una penna che il disegnatore (utente) può spostare sull'immagine.

Da notare, infine, come tutte le modifiche apportate all'immagine sono temporanee; all'uscita dal programma, infatti, viene ripristinata l'immagine di partenza, a meno che non si sia comandato esplicitamente di confermare l'immagine risultante.

Utilizzo di WINCON

WINCON configura il sistema SVP2000 in modo monocromatico con immagini di dimensioni 512x512. In questo caso sono perciò disponibili tutti gli 8 frame-buffer per la memorizzazione di immagini dell'utente. Il diagramma a blocchi di WINCON è mostrato in figura 10.

Anche in WINCON è sempre disponibile un menù di help diverso a seconda dell'ambiente in cui si opera (editing, archiviazione, ecc.). I comandi disponibili sono:

<CURSORI>	movimento della finestra di convoluzione sull'immagine
w	window: definizione di una nuova finestra
f	frame: selezione di un frame
e	edit di una maschera
l	load: caricamento di una maschera dall'archivio

- s save: archiviazione della maschera corrente
- <CR> conferma delle modifiche finora apportate
 sull'immagine
- q quit: uscita dal programma.

Inizialmente la maschera corrente è la maschera identità:

0	0	0
0	1	0
0	0	0

quindi, per vedere effettivamente il funzionamento di WINCON è necessario caricare o editare una nuova maschera che abbia effetti visibili sulle immagini. In fase di archiviazione della maschera corrente è poi possibile aggiungere un breve commento (max 80 caratteri) per ricordare significato e/o funzioni del filtro. Questo commento viene mostrato sul terminale alfanumerico ogni volta che la maschera è caricata.

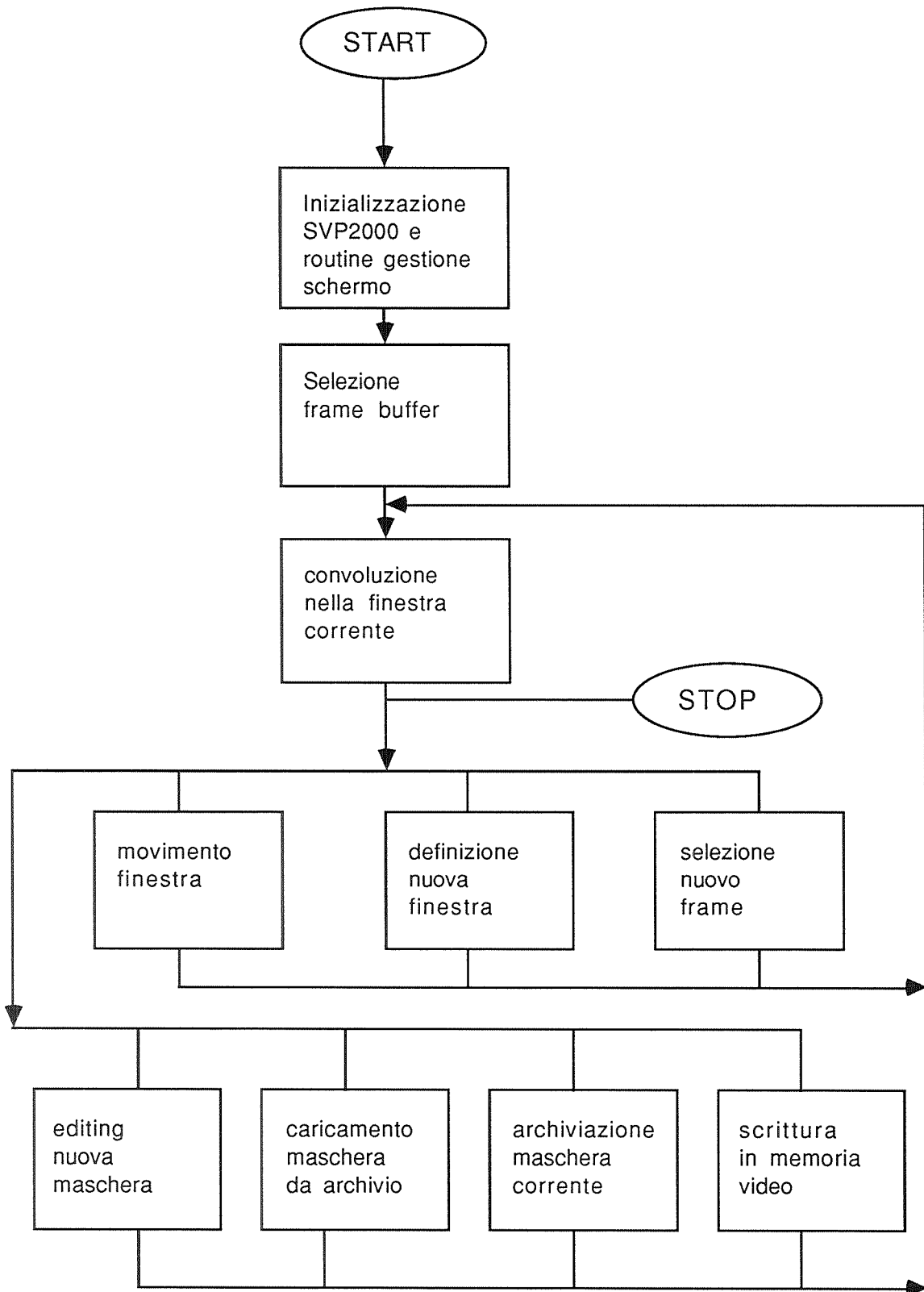


Fig. 10