

1974-82-012

L74-38

ARCHIVIO

UN PROGRAMMA PER LA GESTIONE INTERATTIVA DEL SISTEMA SADAF
DI DIGITALIZZAZIONE DI IMMAGINI

CARLO CARLESÌ e UGO MONTANARI

Istituto di Elaborazione della Informazione - C.N.R.

Via S. Maria, 46 Pisa

1. Introduzione

La elaborazione di immagini mediante calcolatore è un campo molto promettente sia per la ricerca sia per le applicazioni. Esse vanno dal riconoscimento di caratteri a stampa e manoscritti alla interpretazione di fotografie prese da aerei e satelliti, dalle applicazioni biomediche (classificazione automatica di cromosomi, strisci vaginali, etc.) all'analisi di scene tridimensionali nell'ambito, ad esempio, della robotica⁺.

Il primo passo dell'elaborazione di immagini mediante calcolatore consiste comunque nella digitalizzazione di tutta l'immagine o parte di essa mediante appositi lettori ottici. Una prima distinzione si può fare tra apparecchiature in grado di acquisire l'immagine "dal vivo" o soltanto partendo da un supporto fotografico. Alla prima ca-

+ Per una panoramica attuale sulla elaborazione di immagini si vedano ad esempio le rassegne /1,2/ ed in generale gli atti della conferenza /2/ dedicata in larga parte a tale argomento.

tegoria appartengono le telecamere, che però hanno grosse limitazioni per quanto riguarda sia la definizione spaziale sia il rapporto segnale-rumore, il quale si ripercuote sul numero di livelli di grigio affidabili. In linea di massima, si può dire che una apparecchiatura del secondo tipo, qualora non si richieda un'interazione in tempo reale, sia più flessibile e riesca a coprire un più largo spettro di applicazioni.

Una seconda distinzione, molto importante, riguarda la possibilità di lettura, sotto il controllo del calcolatore, di parti delle immagini e di singoli punti (accesso casuale). E' chiaro che apparecchiature di questo tipo possono estrarre la parte di informazione veramente desiderata usando l'immagine sostanzialmente come memoria secondaria. Tra le apparecchiature che non hanno questa possibilità citiamo i fac-simile, meccanici, usati per le radiofoto, molto economici, ma di cui esistono anche versioni sofisticate a luce laser con prestazioni estreme, non raggiungibili altrimenti.

Una apparecchiatura che rappresenta un buon compromesso tra costo, flessibilità di impiego e prestazioni è il flying-spot, largamente utilizzato in pratica. Esso consiste di un tubo catodico ad alta precisione fornito di un fosforo a bassa persistenza. La posizione del pannello elettronico è comandata dal calcolatore mediante un convertitore digitale-analogico. L'immagine dello schermo è quindi focalizzata da un sistema ottico su una diapositiva da esaminare: in questo modo resta illuminato soltanto il punto desiderato della diapositiva. Oltre questa, è sistemato un tubo fotomoltiplicatore per amplificare il segnale luminoso ottenuto ed infine un convertitore ana-

logico-digitale. Prestazioni limite di questo tipo di apparecchiature sono all'incirca 4000x4000 punti, 64 livelli di grigio e 30 μ sec di tempo di lettura per ogni punto.

Nel prossimo paragrafo descriveremo un poco più in dettaglio il sistema SADAF e le sue prestazioni, mentre nei paragrafi successivi ne descriveremo il software di controllo.

2. Il sistema SADAF

Una descrizione completa del sistema, assieme ad un'analisi critica delle sue prestazioni, è contenuta in /3/. Qui ci limitiamo ad esporne gli aspetti salienti. In figura 1 è riportato uno schema del sistema. Esso è controllato da un calcolatore DEC PDP8/I, con parole di 12 bits, tempo di ciclo 1,5 μ sec e capacità di memoria di 8K parole. Tra le periferiche, citiamo un disco di 32K, una unità nastro magnetico IBM-compatibile, una stampante veloce ed infine un display a due livelli, del tipo storage, con il quale è possibile interagire mediante joystick (vedi figura 2).

Per quanto riguarda il flying-spot vero e proprio (vedi figura 3), il tubo catodico ed il convertitore DA sono incorporati in un display DEC, il quale permette l'indirizzamento di 1024x1024 punti dello schermo. Una volta dato l'ordine di posizionamento del punto luminoso mediante una opportuna sequenza di istruzioni macchina, bisogna attendere un tempo di circa 50 μ sec prima di effettuare la lettura. Ciò è dovuto sia alla limitata banda passante degli amplificatori di deflessione del tubo catodico, sia alla persistenza del fosforo. Nel frattempo il calcolatore può procedere a operazioni di controllo della scansione o a

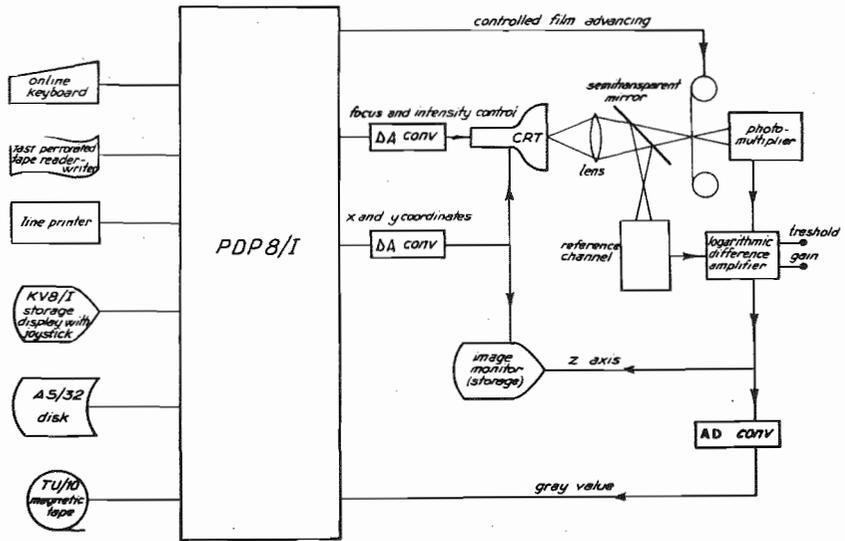


Fig. 1



Fig. 2

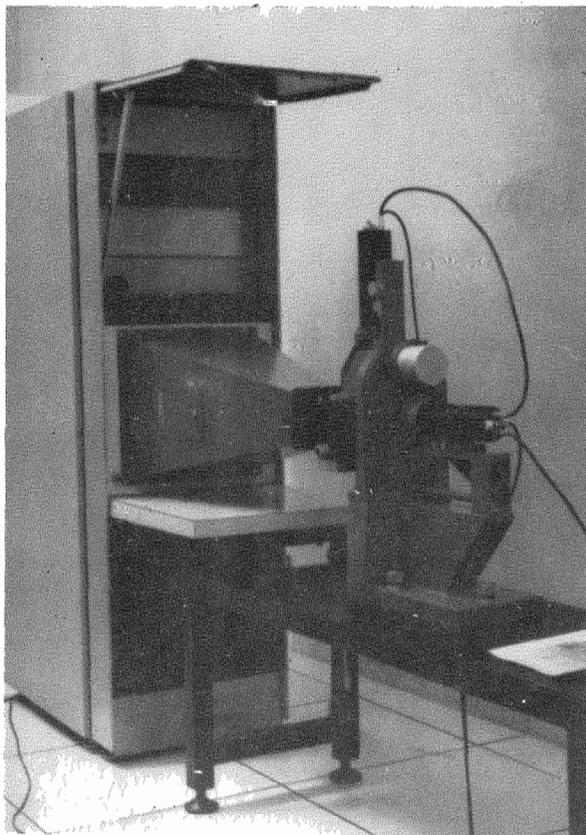


Fig. 3

semplici elaborazioni dei valori già letti.

Il sistema ottico è fornito di un "canale di compensazione", cioè l'immagine dello schermo è duplicata mediante uno specchio semitrasparente. Le due immagini passano attraverso apparecchiature identiche, salvo che una di esse incontra la diapositiva. Anche i fotomoltiplicatori ed i convertitori AD dei due canali sono gemelli: in questo modo prendendo la differenza dei due segnali si riescono a compensare le disomogeneità del fosforo, e, in generale, le variazioni di luminosità del tubo catodico. Il valore di gri

gio così ottenuto, espresso mediante 6 bits, viene infine letto nell'accumulatore.

Oltre alla lettura punto per punto è prevista la possibilità di una scansione automatica a matrice. Si potrà cioè, ancora mediante una opportuna sequenza di istruzioni, effettuare la lettura di una intera matrice prefissata, senza ulteriori interventi da parte del calcolatore. Man mano che i valori di grigio verranno prodotti, essi saranno depositati direttamente nella memoria mediante un dispositivo DMA. Osserviamo infine che per ora l'unico formato di diapositive utilizzabile è il 24x36 mm., ma che è invece già funzionante un dispositivo di avanzamento della pellicola, anche esso sotto il controllo del calcolatore.

3. Un programma per la gestione del sistema SADAF.

L'accesso casuale permesso da un flying-spot è pienamente sfruttato solo se la elaborazione desiderata avviene contemporaneamente alla lettura, così da evitare la memorizzazione di informazione inutile. Tuttavia è chiaro dalla descrizione fatta nel precedente paragrafo come le risorse di memoria e di potenza di calcolo del sistema in sé siano molto ridotte, e del tutto insufficienti per la massima parte delle applicazioni di elaborazione di immagini: sarebbe perciò necessario effettuare il collegamento del sistema SADAF con un calcolatore medio-grande, il quale vedesse il SADAF come un terminale intelligente. Mancando tale collegamento, lo scopo del sistema resta quello di registrare su nastro magnetico l'immagine o la parte di immagine desiderata, nastro che verrà poi trasferito manualmente ad altro Centro di Calcolo. Allo scopo di facilitare la determinazione interattiva da parte dell'utente dei para-

metri necessari per tale digitalizzazione, è stato sviluppato un programma, scritto in Assembler PALD, che permette altresì all'utente di riprodurre, sul display o mediante stampante veloce, l'immagine digitale ottenuta. Tale programma consta di due parti.

a) Un programma di lettura vera e propria. E' in grado di leggere una qualsiasi matrice in cui sia il numero di righe che il numero di colonne siano potenze di due⁺. E' possibile diradare i punti letti (fino ad un punto ogni 64) ed inoltre la lettura può essere fatta per righe, per colonne, o, più in generale, per decomposizione in sottomatrici. E' possibile mediare più punti adiacenti (fino a 64) allo scopo di aumentare il numero dei livelli di grigio (fino a 256 livelli) e, contemporaneamente alla lettura, si possono ottenere le frequenze dei vari livelli. Al fine di rendere più rapida la lettura sfruttando il potenziale parallelismo, grazie al DMA, tra unità centrale, nastro magnetico e flying-spot (quando sarà disponibile il dispositivo di scansione automatica), il programma è stato realizzato con uno schema di bufferizzazione comprendente due buffers di ingresso e due buffers di uscita, intercambiabili, di un massimo di 512 parole.

b) Un programma di colloquio con l'utente. E' completamente autocomprendivo ed è stato progettato in modo da impedire ogni possibile errore da parte dell'utente. Infatti qualora sussistano vincoli alle possibili risposte, questi ven-

+ Per comodità di programmazione, allo scopo di evitare resti, tutte le lunghezze (dimensioni della matrice, dimensioni delle sottomatrici, dimensione dei buffers, records su nastro magnetico, etc.) devono essere potenze di due.

gono precalcolati e suggeriti all'utente, mentre la risposta viene accettata solo se soddisfa tali vincoli. Per ogni domanda è infine prevista una risposta "per default" che corrisponde alla situazione più comune.

Il tempo richiesto per digitalizzare un'immagine è circa proporzionale al numero di punti effettivamente letti, ma varia anche a seconda delle operazioni richieste. Ad esempio, digitalizzando l'intera immagine a piena definizione (10^6 punti), il tempo varia da un minuto e mezzo a due minuti. Naturalmente queste cifre valgono per il nastro magnetico, in quanto se si utilizza la stampante come periferica di uscita i tempi possono essere enormemente più lunghi.

```
PROGRAMMA DIGITALIZZAZIONE FOTOGRAMMI 2ø-ø3-74 I.E.I.
NOMINATIVO DELL'UTENTE      UGO MONTANARI
TITOLO DEL LAVORO           RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE
NUMERO FOTOGRAMMA          øøø1
COLLOQUIO SU KV8? (SI;NO) SI
```

Fig. 4

4. Alcuni esempi di colloquio.

Nel colloquio si possono individuare un certo numero di parti concettualmente distinte. Le elencheremo qui nel seguito illustrandole con alcuni esempi.

a) Apertura del colloquio. Avviene sempre utilizzando la telescrivente allo scopo di lasciare una traccia scritta. Vengono identificati l'utente, il lavoro ed il fotogramma (vedi figura 4). Sia questi, sia tutti i parametri scelti successivamente, vengono in ogni caso riportati assieme all'immagine in modo da assicurare la riproducibilità della digitalizzazione. La parte successiva del colloquio può proseguire sia sulla telescrivente sia sul display.

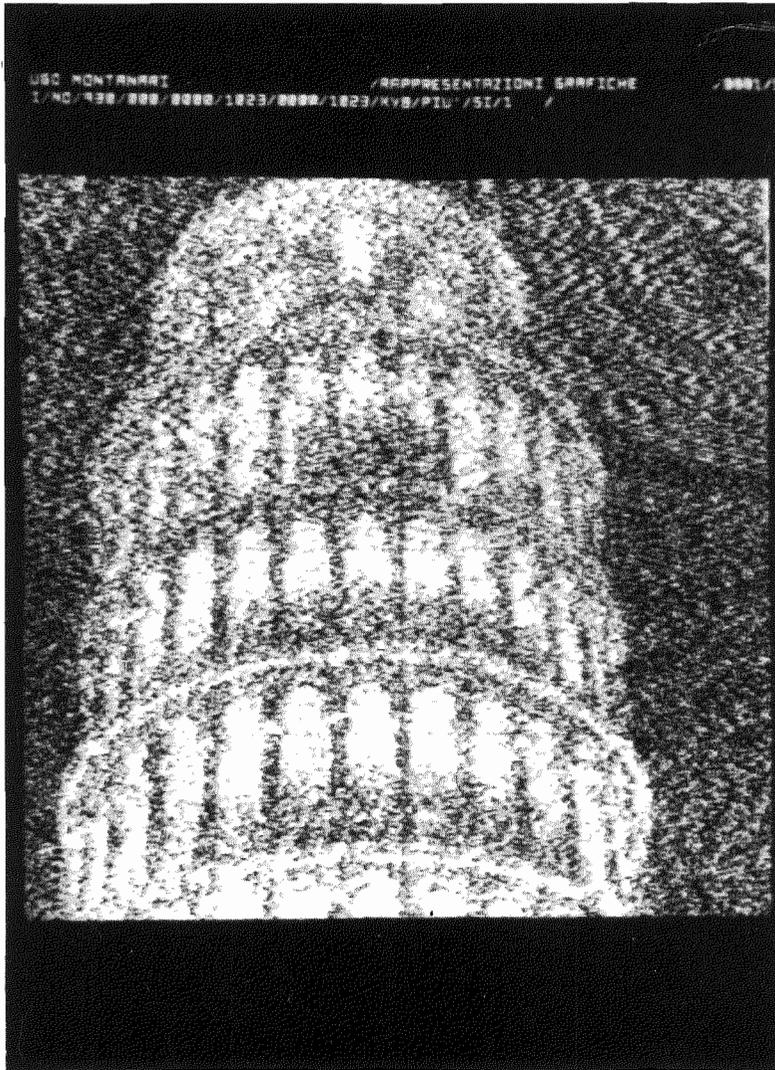


fig 5

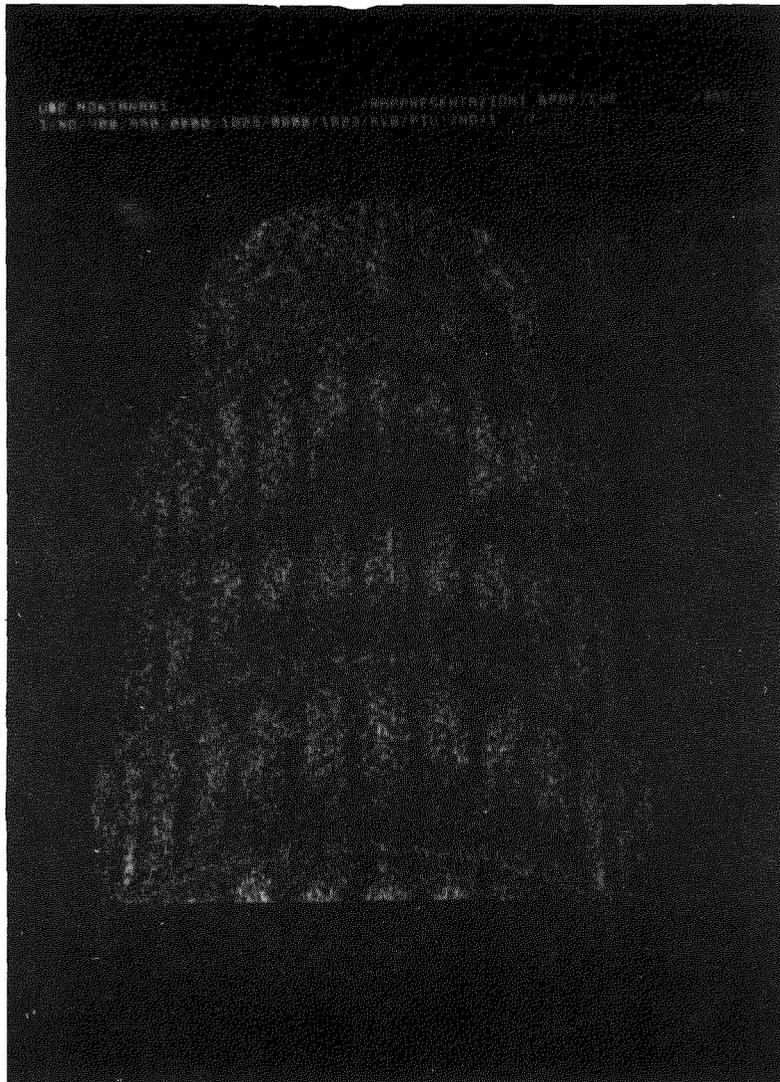


fig 6

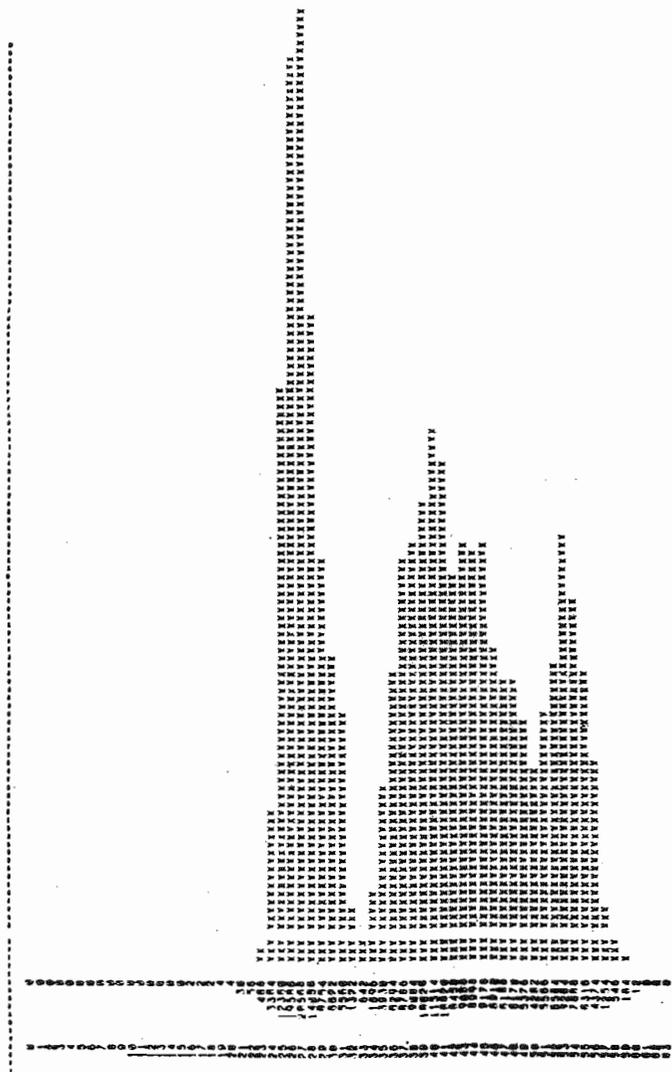


Fig. 7

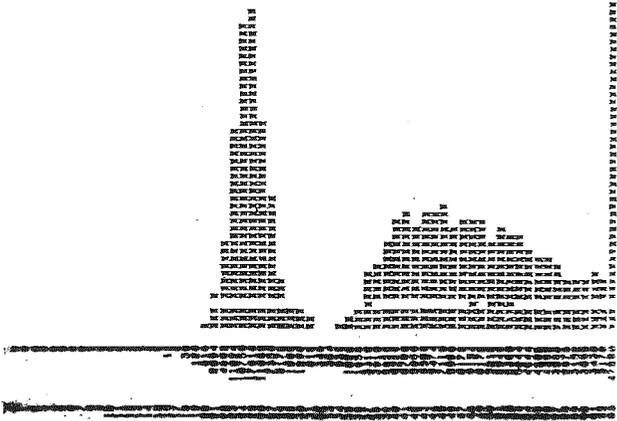


Fig. 8

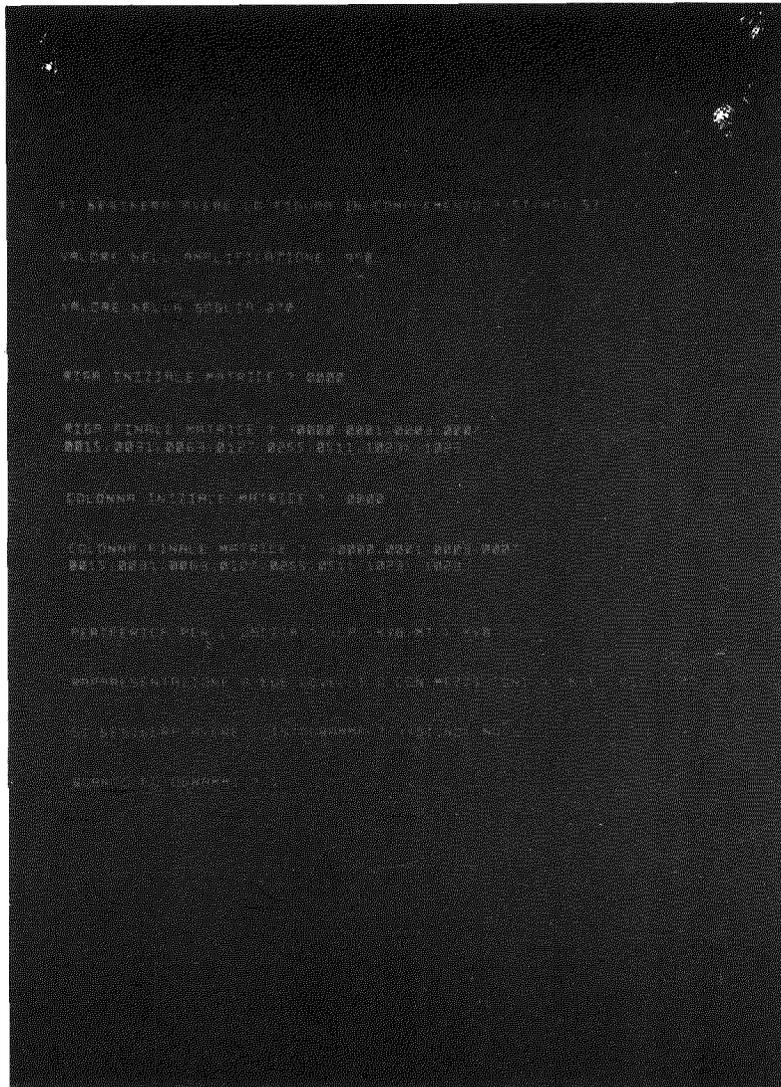


Fig. 9

b) Determinazione della scala dei grigi. Due parametri dell'amplificatore logaritmico differenziale (vedi figura 1), l'amplificazione e la soglia, permettono di variare la corrispondenza tra livelli di digitalizzazione e densità fotografica della pellicola, rispettivamente riducendo il range di misura (ma aumentando la definizione in termini di livelli di grigio) e spostandolo verso i bianchi. Ad esempio in figura 5 e 6 sono riportate due immagini digitalizzate con differenti valori di amplificazione e soglia, mentre in figura 7 e 8 sono presentati i relativi istogrammi. E'

infine possibile rovesciare la scala dei livelli di grigio ottenendo l'immagine negativa.

c) Determinazione della finestra da digitalizzare. Il colloquio prosegue (vedi figura 9) con domande e risposte circa la riga e la colonna iniziale e finale della matrice desiderata. Si osservi come mentre la riga e la colonna iniziali non siano soggetti a vincoli, la riga e la colonna finale debbano rispettare il vincolo della potenza di 2.

Oltre al metodo di specificare direttamente le coordinate desiderate, la matrice da leggere può anche essere comunicata individuando, mediante joy-stick, i suoi punti estremi in basso a sinistra ed in alto a destra su una immagine precedentemente riprodotta sul display. La matrice risultante viene quindi marcata con un rettangolo bianco. Ad esempio in figura 10 vediamo un dettaglio, sul quale è stato individuato un particolare ancora più ridotto. L'immagine così ottenuta è riportata in Figura 11.

d) Scelta della periferica di uscita.

d1) Display. Essendo il display KV8 solamente a due livelli, sarebbe possibile riprodurre soltanto immagini senza mezzi toni specificando una soglia. (Ad esempio in figura 12 vediamo l'immagine intera di cui le figure 10 e 11 sono particolari, riprodotta con soglia al 42-esimo livello). Tuttavia è stato messo a punto un sottoprogramma basato su un generatore di numeri pseudo-casuali, che intensifica un punto con una probabilità proporzionale al suo livello di grigio, barattando così definizione spaziale per definizione in termini di livelli di grigio. Oltre alle figure 5 e 6 anche la figura 13 è stata ottenuta con questa tecnica. Essa costituisce il ri-

以圖說，其目的在於說明其設計之重要性，並說明其設計之重要性，並說明其設計之重要性。



fig 10

U80 MONTARRI

REPRESENTAZIONE SPAZIALE

1989

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.



fig. 11

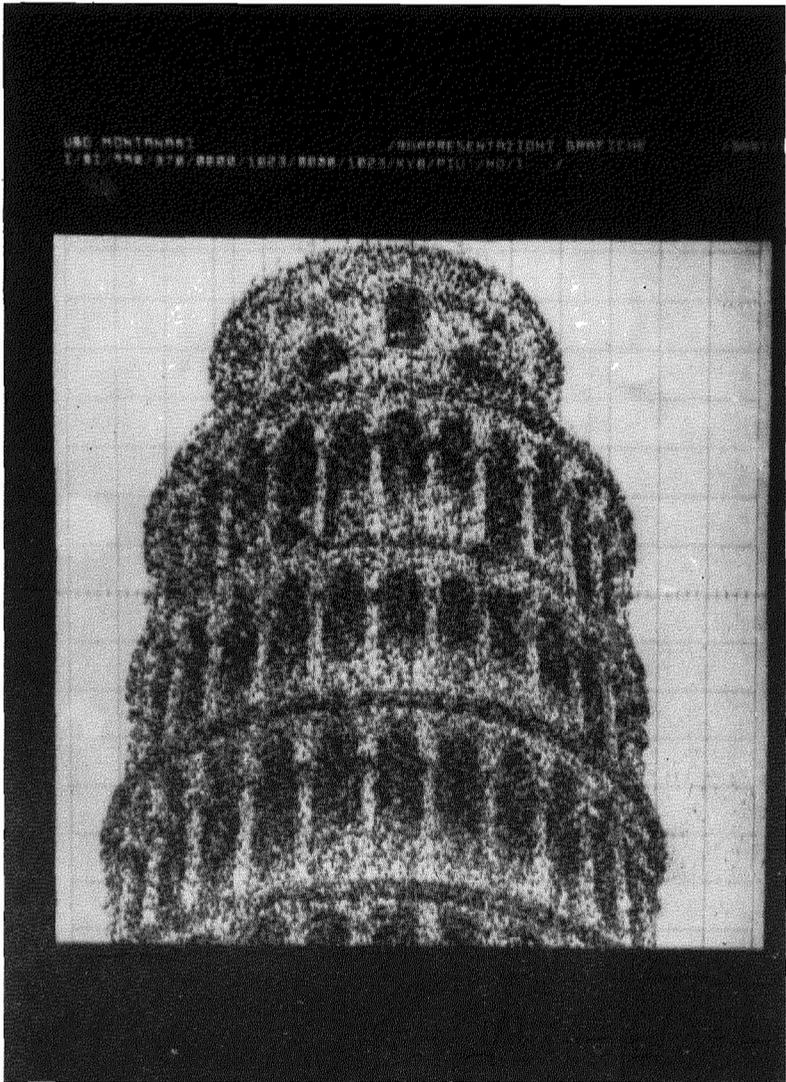


fig 13

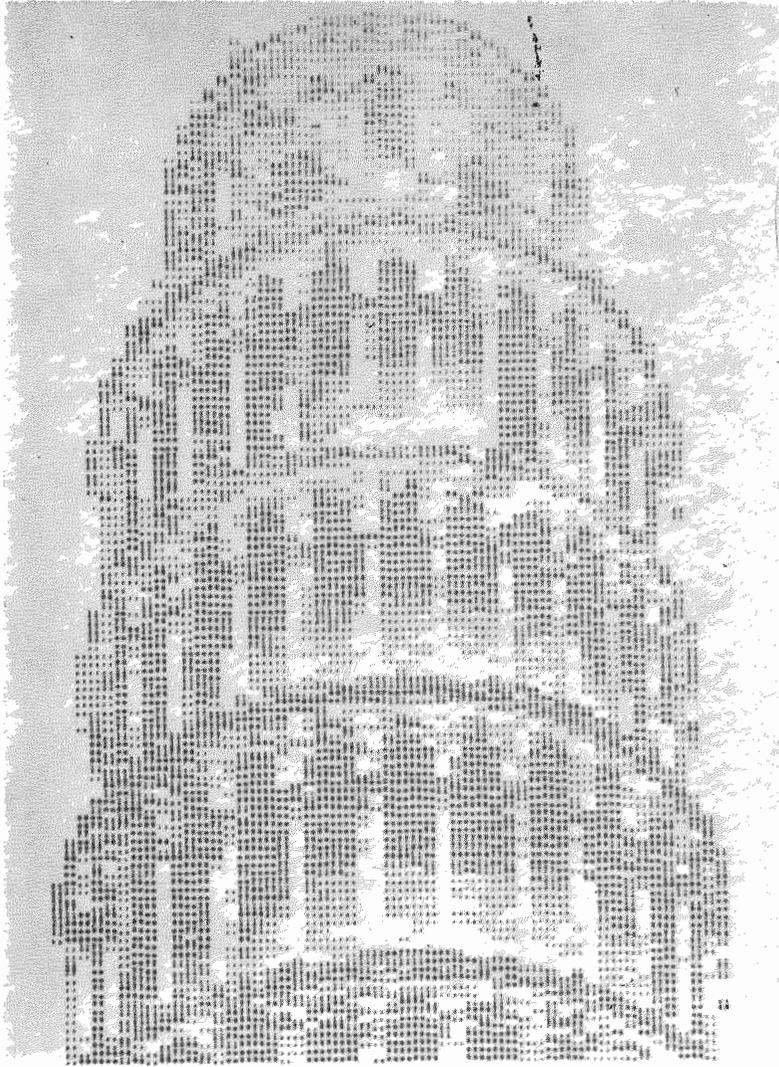


fig 14

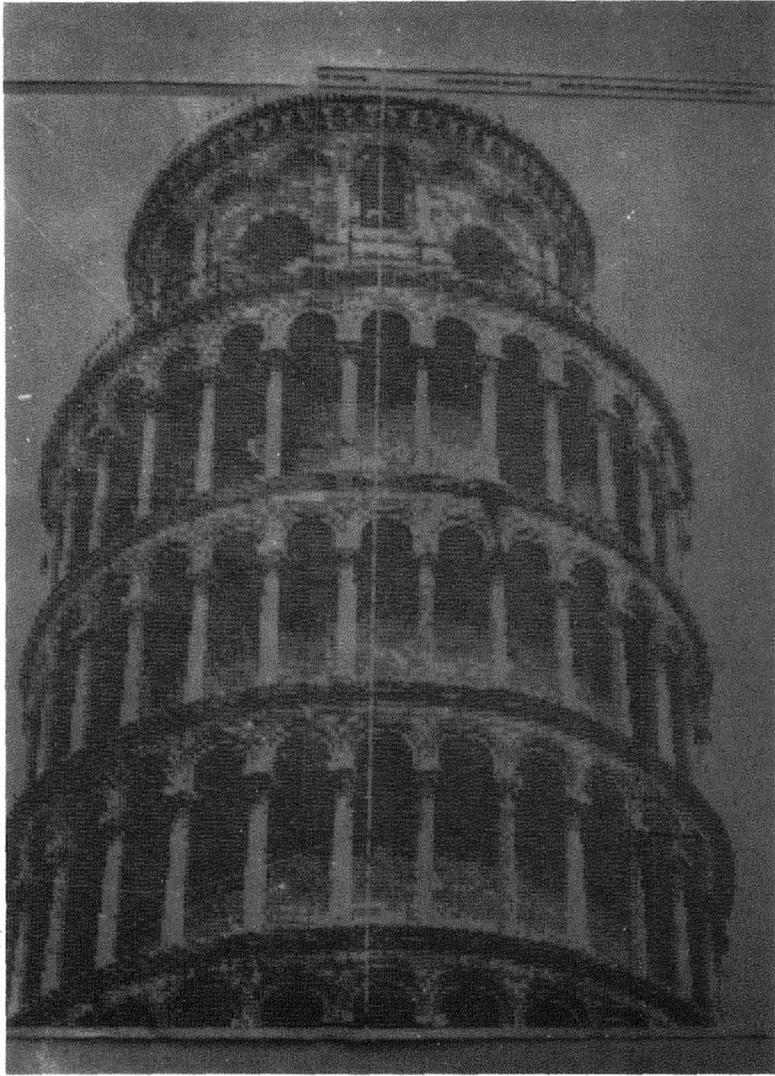


fig 15

```

SI DESIDERA AVERE LA FIGURA IN COMPLEMENTO * (51-ND) NO
A.D.04 NELL'AMPLIFICAZIONE * 000
A.D.04 NELLA SCALTA * 000
RIGA INIZIALE MATRICE ? 0000
RIGA FINALE MATRICE ? (0000 0001 0002 0007
0010 0003 0005 0107 0055 0511 1024) 1000
COLONNA INIZIALE MATRICE ? 0000
COLONNA FINALE MATRICE ? (0000 0001 0002 0007
0010 0003 0005 0107 0055 0511 1024) 1000
REITERAZIONE PER IL CASO ? (00 000-01) * 01
PASSO IN LETTURA ? (0001-0002 0007 0020) 0
LUNGHEZZA DEL RECORD SU CASO ? (0120 0050-0510) 050
MAGGIORE DEFINIZIONE LIVELLI DI BRIGIO MEDIANTE MESIE LOCALI * (51-ND) 02
QUANTI PUNTI DEVONO ESSERE MENTATI ? (16-64) 64
CON QUANTI BITS SI DESIDERA IL RISULTATO ? (8-8) 6
SI DESIDERA MEMORIZZARE LA FIGURA MEDIANTE SOTTOMATRICI ? (51-ND) 01
QUANTE COLONNE DEVE AVERE OGNI SOTTOMATRICE ? (0010-0030) 02
QUANTE RIGHE DEVE AVERE UNA SOTTOMATRICE ? (0510-1024) 510
SI DESIDERA AVERE L'ISTOGRAMMA ? * (51-ND) 01

```

fig 16

sultato del colloquio in Figura 9: essendo tale tecnica di rappresentazione molto utile durante i primi tentativi di digitalizzazione, tutte le risposte ivi fornite (eccetto le prime tre) avrebbero potute essere sostituite da "defaults", ottenendo direttamente la stessa immagine.

d2) Stampante veloce. I livelli di grigio vengono simulati mediante caratteri sovrapposti. Oltre a decidere le dimensioni della stampa (fino a 3 strisce parallele, da congiungere insieme) si può in certi casi compensare l'immagine tenendo conto della diversa spaziatura tra carattere e righe di caratteri. Questo effetto si ottiene stampando una colonna ogni quattro ed una riga ogni cinque. In Figura 14 si vede una stampa su una sola striscia (cioè con 128 colonne) non compensata, mentre in figura 15 si vede una stampa su due strisce, compensata. Questa ultima ha richiesto un tempo di circa 4 minuti.

d3) Nastro magnetico. La possibilità accennata di diradare i punti letti, di accrescere i livelli di grigio e di memorizzare l'immagine scandendola a sottomatrice, da luogo ad una lunga sequenza di domande. Un esempio di colloquio è riportato in Figura 16.

e) Istogramma. Se richiesto, viene riprodotto con la stampante veloce, e comprende, per ogni livello, il numero di punti della matrice con quel livello ed una sequenza di caratteri proporzionale a tale numero. La costante di normalizzazione viene scelta in modo che la sequenza più lunga sia di 128 caratteri (vedi Figura 7 e 8).

f) Numero di fotogrammi. Sfruttando l'avanzamento automatico della pellicola, è possibile leggere più fotogrammi con gli stessi parametri senza ripetere il colloquio. E' anche possibile ripetere lo stesso fotogramma con gli stessi o diversi parametri, cambiare fotogramma con lo stesso utente o cambiare utente.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare quanti hanno collaborato allo sviluppo del sistema SADAF, e in particolare il Prof. A. Grasselli che lo concepì e ne curò lo sviluppo iniziale, e i Sigg. L. Azzarelli e R. Panicucci che hanno realizzato la parte hardware. Si ringrazia infine il Sig. Serchiani per l'accurato servizio di documentazione fotografica in questo ed in precedenti lavori.

BIBLIOGRAFIA

- /1/ Rosenfeld, A., Progress in Picture Processing: 1969-71, Computing Surveys, 5, pp. 81-108, 1973.

- /2/ Montanari, U., Recent Progress in Picture Processing and Scene Analysis. Atti "Second International Joint Conference on Pattern Recognition", 13-15 Agosto 1974, Copenhagen, pp. 513-516.

- /3/ Azzarelli, L., Panicucci, R., Descrizione del Sistema SADAF per la Lettura e Digitalizzazione di Fotogrammi, Istituto di Elaborazione della Informazione, Pisa, Nota Tecnica C72-2, Maggio 1972.