

**MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART**  
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS  
 STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a  
 (ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

ENEN



**COMITATO NAZIONALE PER LA RICERCA E PER LO SVILUPPO  
DELL'ENERGIA NUCLEARE E DELLE ENERGIE ALTERNATIVE**

# **CONVERSIONE IN FORMA NUMERICA DI IMMAGINI RADIOGRAFICHE**

**C. Cappabianca, S. Ferriani**  
ENEADipartimento Reattori Veloci, Centro ricerche energia Casaccia

**A.B. Della Rocca**  
ENEADirezione Centrale Sistemi Informativi - Servizio Minisistemi, Centro ricerche energia Casaccia

***Testo pervenuto nel luglio 1986***

**I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'Enea  
rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'ente**

3/4

## RIASUNTO

L'indagine radiografica e' uno dei piu' diffusi metodi di controllo non distruttivo impiegati in campo industriale. Tuttavia alcuni fattori condizionano l'attendibilita' dei risultati e ne limitano gli sviluppi applicativi. L'Image Processing fornisce un cospicuo aiuto al loro superamento, ma, affiche' i reperti siano 'letti' e 'compresi' dal calcolatore, occorre convertirli, preventivamente, in forma digitale. Questo lavoro illustra i metodi e le apparecchiature usate per questa operazione; segue una breve descrizione del sistema per la elaborazione di immagini operante presso il Centro Ricerche Enea della Casaccia.

## SUMMARY

Radiographic means are widely used for non-destructive testing. However, human and technological factors strongly influence reliability of the results and further use of these technics. Image Processing can help to overtake those difficulties if radiographic films are previously digitized. This paper shows methods and equipments used in this field. It is described the system EDI (Enea Digital Imagery) operating in energy center ENEA of Casaccia.

## INTRODUZIONE

L' esame radiografico e' uno dei piu' diffusi metodi di controllo non distruttivo grazie, soprattutto, alla relativa facilita' di impiego e alla sua molteplice potenzialita' applicativa.

Nondimeno tale controllo, condotto secondo i criteri e i metodi tradizionali, presenta limiti raggruppabili in due categorie: una condiziona l'affidabilita', e l'altra ne riduce l'uso estensivo.

Appartengono alla prima i limiti legati alla fase di lettura dei reperti. Infatti, anche un operatore ben addestrato non puo' superare le proprie capacita' fisiologiche, non puo' sottrarsi alla soggettivita' interpretativa, ne' evitare le conseguenze dell'affaticamento.

Il tempo richiesto dall'esame e la sua precisione e sensibilita' sono i principali fattori della seconda categoria.

Inoltre, l' invecchiamento e l'ingombro delle pellicole rendono difficile sia la gestione, sia la consultazione degli archivi radiografici.

Negli ultimi decenni lo sviluppo delle tecniche di Image Processing e la maggiore velocita' di calcolo e versatilita' dei calcolatori, hanno apportato notevoli contributi in tutte quelle attivita' e discipline in cui le informazioni sono espresse sottoforma di immagini.

Pertanto anche per il controllo radiografico il ricorso al calcolatore puo' apportare un fattivo contributo al superamento dei suoi limiti.

Affinche' le immagini radiografiche siano comprensibili dalle unita' di processo dell'elaboratore e' necessario che siano preventivamente convertite in forma numerica. Di seguito illustreremo i metodi e le apparecchiature usate per questa operazione, e descriveremo

brevemente il sistema per la elaborazione di immagini operante presso il Centro Ricerche Enea della Casaccia.

## 1. CONVERSIONE IN FORMA NUMERICA DELLE IMMAGINI

La conversione in forma numerica di un'immagine consiste, dal punto di vista concettuale, nella sua suddivisione in piccole aree elementari e nella codifica numerica del valore di luminosita' presente in ciascuna di esse.

I metodi e i criteri teorici seguiti sono molteplici, ma l'intero processo e' sempre costituito da tre fasi successive;

- a - campionamento;
- b - quantizzazione;
- c - codifica.

### a. campionamento

Il campionamento viene effettuato suddividendo, idealmente, l'immagine in piccole aree adiacenti (sampling spot - areole di campionamento) e misurando l'energia luminosa proveniente da ciascuna di esse.

Generalmente la suddivisione e' fatta secondo un grigliato a maglia quadrata di lato  $\Delta l$ .

La frequenza di campionamento  $f_c$ , numero di campioni per unita' di lunghezza, e' inversamente proporzionale a  $\Delta l$ .

Affinche' non ci sia perdita di informazioni  $f_c$  deve essere fissata in base al criterio di Nyquist: se  $f_{max}$  e' la frequenza spaziale massima dell'immagine occorre che

$$f_c \geq 2 f_{max}$$

Il risultato del campionamento e' una matrice numerica i cui elementi si riferiscono alle areole di cam-

pionamento.

#### b. quantizzazione

La quantizzazione ha lo scopo di discretizzare l'intero intervallo dei valori radiometrici rilevati col campionamento e definito da  $L_{min}$  e  $L_{max}$ , rispettivamente luminosita' minima e massima presenti.

Il campo di variazione viene suddiviso in un certo numero di segmenti, ciascuno dei quali e' caratterizzato da un limite superiore ed uno inferiore, chiamati "livelli di decisione". Il criterio per fissarli e' quello di minimizzare l'errore di quantizzazione; nel caso piu' semplice l'intero range e' suddiviso in  $M$  parti uguali.

Indipendentemente dal criterio usato, ogni segmento e' identificato con un numero d'ordine progressivo espresso in forma binaria. La quantita' di segmenti definibili dipende dal numero di bit a disposizione.

#### c. codifica

Una volta assegnati i livelli di decisione, si passa alla operazione finale di codifica che associa a ciascun valore campionato il codice binario (Digital Count) che identifica il segmento in cui e' compreso.

In definitiva, un'immagine radiografica digitale e' costituita da una matrice di numeri interi, compresi fra 0 e 255.

E' evidente che sotto questa veste l'immagine conserva ben poco dell'aspetto originario ed e' impossibile per noi decifrarne il contenuto, tuttavia presenta il grosso vantaggio di poter essere elaborata da un calcolatore e di essere memorizzata su banda magnetica dando vita ad archivi di facile gestione e piu' rapida consultazione.

A questo punto e' naturale chiedersi come sia possibile, una volta elaborata o archiviata, "rivedere" un'immagine digitale.

A cio' provvedono particolari dispositivi che ad ogni valore numerico della matrice associano un segnale video di intensita' proporzionale.

E' cosi' possibile ottenere, su di un monitor, l'immagine in forma intelligibile. Essa risulta simile ad un mosaico le cui tessere, chiamate pixel, hanno intensita' luminose (livelli di grigio) proporzionali ai corrispondenti codici (fig. 1).

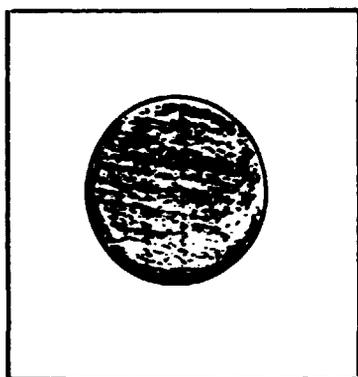
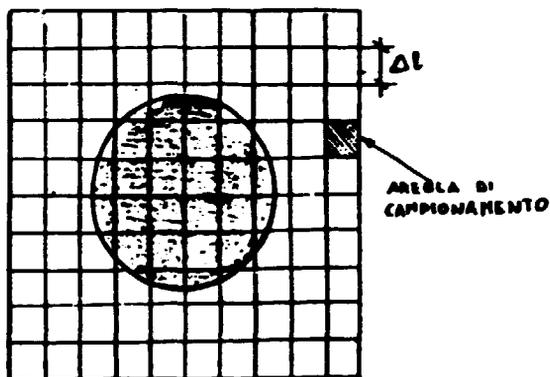
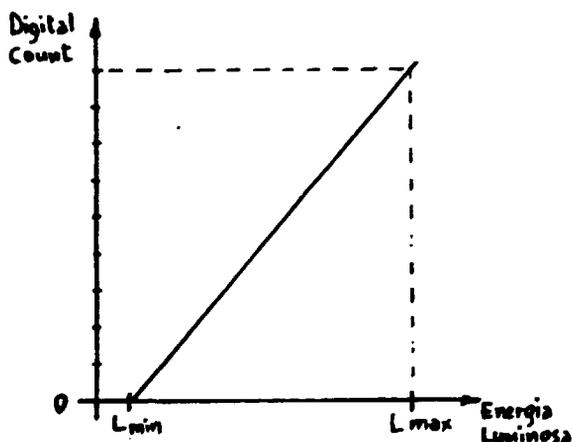


IMMAGINE ANALOGICA



CAMPIONAMENTO

QUANTIZZAZIONE E  
CODIFICA

100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	80	55	55	80	100	100	100
100	100	80	36	36	36	36	97	100	100
100	100	61	36	36	36	36	56	100	100
100	100	61	36	36	36	36	49	100	100
100	100	80	36	36	36	36	97	100	100
100	100	100	87	56	56	87	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

IMMAGINE DIGITALE

## DIGITALIZZAZIONE DI UN' IMMAGINE

### 3. APPARECCHIATURE

I dispositivi preposti alla conversione A/D di radiografie vengono generalmente indicati come digitalizzatori ottici a scansione (scanner ottici)

Nonostante se ne possa trovare una vasta gamma, ognuno di essi effettua il campionamento spaziale misurando la quantità di luce trasmessa o riflessa dalle singole areole della lastra. A tal fine dispongono tutti di due componenti fondamentali:

- una sorgente luminosa;
- un convertitore ottico-elettrico.

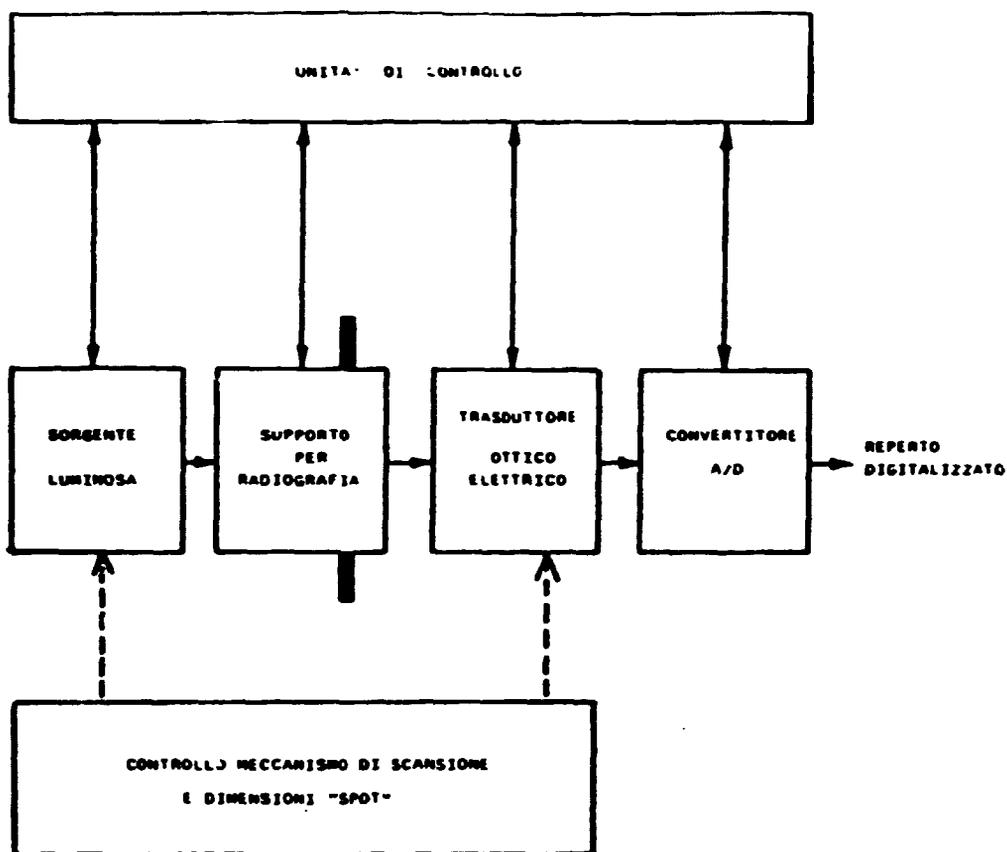
In linea di principio l'accoppiamento funzionale tra quest'ultimi può essere realizzato in due diversi modi

Nel primo, una macchia di luce (spot) di dimensioni e intensità prestabilite, scandisce l'intera lastra seguendo successive linee parallele. Il trasduttore rimane fisso e converte il segnale ottico proveniente da ciascuna areola illuminata. Le apparecchiature che adottano questa soluzione, sono indicate con il termine flying-spot (fig. 2).

Nella possibilità alternativa, attuata nei dispositivi denominati flying-aperture, la sorgente è fissa ed illumina l'intera radiografia, mentre è il convertitore che effettua il movimento di scansione (fig. 3).

Le caratteristiche I/O degli scanner ottici costituiscono informazioni essenziali per la scelta e l'uso corretto di tali dispositivi.

Infatti, con esse, è possibile non solo valutare le prestazioni dell'apparecchiatura, ma correggere le distorsioni introdotte dal processo di conversione.



### SCHEMA FUNZIONALE DI UNO SCANNER OTTICO

Tali caratteristiche possono essere raggruppate in tre categorie principali che riguardano:

- a - campionamento spaziale;
- b - aspetti radiometrici;
- c - aspetti geometrici.

### a. campionamento

Dalle modalita' del campionamento spaziale, dipende la capacita' del digitalizzatore di conservare anche nella forma numerica i dettagli presenti nella lastra.

I parametri che lo descrivono sono la frequenza e le dimensioni delle areole di campionamento. Da essi dipende il potere di risoluzione geometrico del sistema.

Una precisa e significativa valutazione di tale risoluzione, esprimibile dalla frequenza spaziale massima rilevabile, puo' essere fatta mediante la MTF del digitalizzatore che rappresenta lo spettro delle frequenze di risposta del sistema. Al fine di ottenere una buona conversione occorre selezionare quella apparecchiatura la cui MTF comprenda tutte le frequenze spaziali presenti nella radiografia.

### b. aspetti geometrici

Le principali caratteristiche geometriche di uno scanner sono la linearita', la stabilita' ed il formato. Da esse dipende l'accuratezza con cui vengono riprodotte, nell'uscita digitale, le posizioni occupate dagli elementi dell'immagine, sia in relazione alle mutue distanze, sia nei confronti di assi di riferimento prestabiliti. In particolare, la linearita' geometrica esprime la deviazione dall'originale che si riscontra nella versione digitale di una linea retta. La stabilita' misura le variazioni nel tempo della linearita' geometrica. Infine, il formato indica le dimensioni delle lastre trattabili.

### c. aspetti radiometrici

Nel loro insieme le caratteristiche radiometriche di uno scanner descrivono le sue capacita' di convertire fedelmente in forma numerica le tonalita' di grigio presenti nella lastra. Ricadono in questa categoria: la risposta, l'uniformita' (shading) e la stabilita' radiometrica; il range dinamico; la sensibilita' e la risposta spettrale.

La risposta radiometrica (fig. 4) descrive quantitativamente la relazione fra l'output digitale e i valori in input di densita' ottica. In genere l'andamento di questa relazione ha una validita' locale. Per questo, la conversione di una lastra che presenti una distribuzione di densita' costante, puo' portare ad una sua versione digitale che contiene valori numerici diversi, in special modo spostandosi dalle zone centrali verso le periferiche. L'entita' di queste disuniformita' spaziali di comportamento e' misurata dalla uniformita' radiometrica. La stabilita' misura, invece, la variabilita' nel tempo della risposta radiometrica. Il range dinamico e' l'intervallo di densita' entro cui il trasduttore puo' fisicamente operare. La sensibilita' indica la piu' piccola variazione di tonalita' di grigio che puo' essere riprodotta nella forma digitale (potere di risoluzione radiometrico).

Infine, la risposta spettrale fornisce l'intensita' del segnale elettrico fornito dal trasduttore al variare della lunghezza d'onda del segnale ottico che vi incide.

Gli scanner ottici realizzati con gli attuali livelli tecnologici e commercialmente disponibili, possono essere suddivisi in tre classi. In base alle modalita' puramente elettroniche o meccaniche con cui viene realizzato il movimento di scansione, si possono distinguere rispettivamente gli scanners elettronici e elettro-ottici (fig. 5).

Negli scanner elettronici, il movimento di scansione viene effettuato da un raggio di elettroni che puo' essere pilotato in modo elettromagnetico o elettrostatico. Ricadono in questa categoria i dispositivi CRT e le telecamere.

Negli scanner elettro-ottici la scansione viene effettuata meccanicamente, il reperto e' montato su di un tamburo rotante, o su di un piano. La traslazione del piano o la rototraslazione del tamburo, rispetto alla coppia sorgente-rivelatore, permette la scansione dell'intera immagine.

La terza classe di scanner, di recente sviluppo, e' costituita dai digitalizzatori allo stato solido chiamati dispositivi CCD (Charge Coupled Devices).

Essi sono caratterizzati dal fatto che la loro superficie fotosensibile e/o luminosa e' realizzata mediante componenti allo stato solido assemblati secondo vettori lineari o matrici. Nei primi il movimento di scansione e' unidirezionale, mentre e' del tutto assente nei secondi. Questa particolarita' conferisce una elevata precisione geometrica. Tuttavia, le differenze di sensibilita' presentata dai singoli elementi assemblati, puo' ammontare fino a qualche punto percentuale, limitando la qualita' radiometrica della risposta. La rapida e costante evoluzione tecnologica nel settore dei componenti allo stato solido lascia prevedere che, in un prossimo futuro, saranno superate tali difficolta' e queste apparecchiature sostituiranno quelle attualmente piu' diffuse.

Sinora abbiamo parlato di dispositivi per la conversione di lastre. Tuttavia alcuni di questi, quali telecamere e scanner allo stato solido, possono essere utilizzati anche per l'acquisizione e la conversione di immagini radiosopiche.

Inoltre esistono telecamere sensibili ai raggi X che permettono un aumento di risoluzione geometrica, dovuta all'assenza degli schermi fluorescenti. Per contro possono sorgere difficolta' sia dal formato ridotto delle immagini acquisibili, sia dalla durata inferiore del tubo fotosensibile.

La tabella della pagina seguente riassume le caratteristiche I/O dei dispositivi illustrati.

E' sufficiente un primo esame dei dati contenuti in essa per concludere che i microdensitometri dispongono di prestazioni sensibilmente superiori rispetto a tutti gli altri tipi di dispositivi. Tuttavia non va dimenticato che le telecamere, al contrario dei microdensitometri, effettuano la conversione in tempo reale e dispongono di una maggiore versatilita', poiche' permettono di trattare anche porzioni di un reperto comunque posizionate.

Queste particolarita' costituiscono aspetti molto importanti. Infatti, si e' gia' visto che si puo' fare ricorso al trattamento digitale delle immagini, quando

	CAMPIONAMENTO SPAZIALE			RADIOMETRICHE			GEOMETRICHE	
	grigliato	dimensioni spot ( $\mu\text{m}$ )	livelli di grigio	shading (%)	range dinamico	distorsione (%)	formato	
ELETTRONICI	TELECAMERE	da 256x256 pixels a 1024x1024 pixels	20+50	16+256	2+8	1+1.5 D	2	variabile
ELETTRO-OTTICI	MICRODENSITOMETRI A TAMBURO ROTANTE MICRODENSITOMETRI FLAT-BED	fino a 50.000x50.000 pixels	5+100 1+100	256 fino a 4096	0.1 0.01	1+4 D 1+4 D	0.01 0.001	selezionabile in un set di valori prestabiliti
STATO SOLIDO	VEETTORE LINEARE MATRICE BIDIMEN.	4000x1 pixels 256x256 pixels	$\sim$ 10 $\sim$ 40	2+64 2+64	3 3	2 D 2 D	0.1 0.1	10+20 mm 10+20 mm

risultati necessario effettuare esami radiografici in tempi accettabilmente contenuti. In tali circostanze, la velocità e la facilità d'impiego dell'apparecchiatura risultano due fattori essenziali.

In definitiva si evince che l'impiego di ogni scanner presenta aspetti favorevoli e contrari, a secondo di quali siano i compiti specifici che è chiamato a svolgere.

Pertanto non è possibile individuare un'apparecchiatura migliore in assoluto, ma ciascun tipo fornisce prestazioni specifiche che ne suggeriscono l'impiego più adatto.

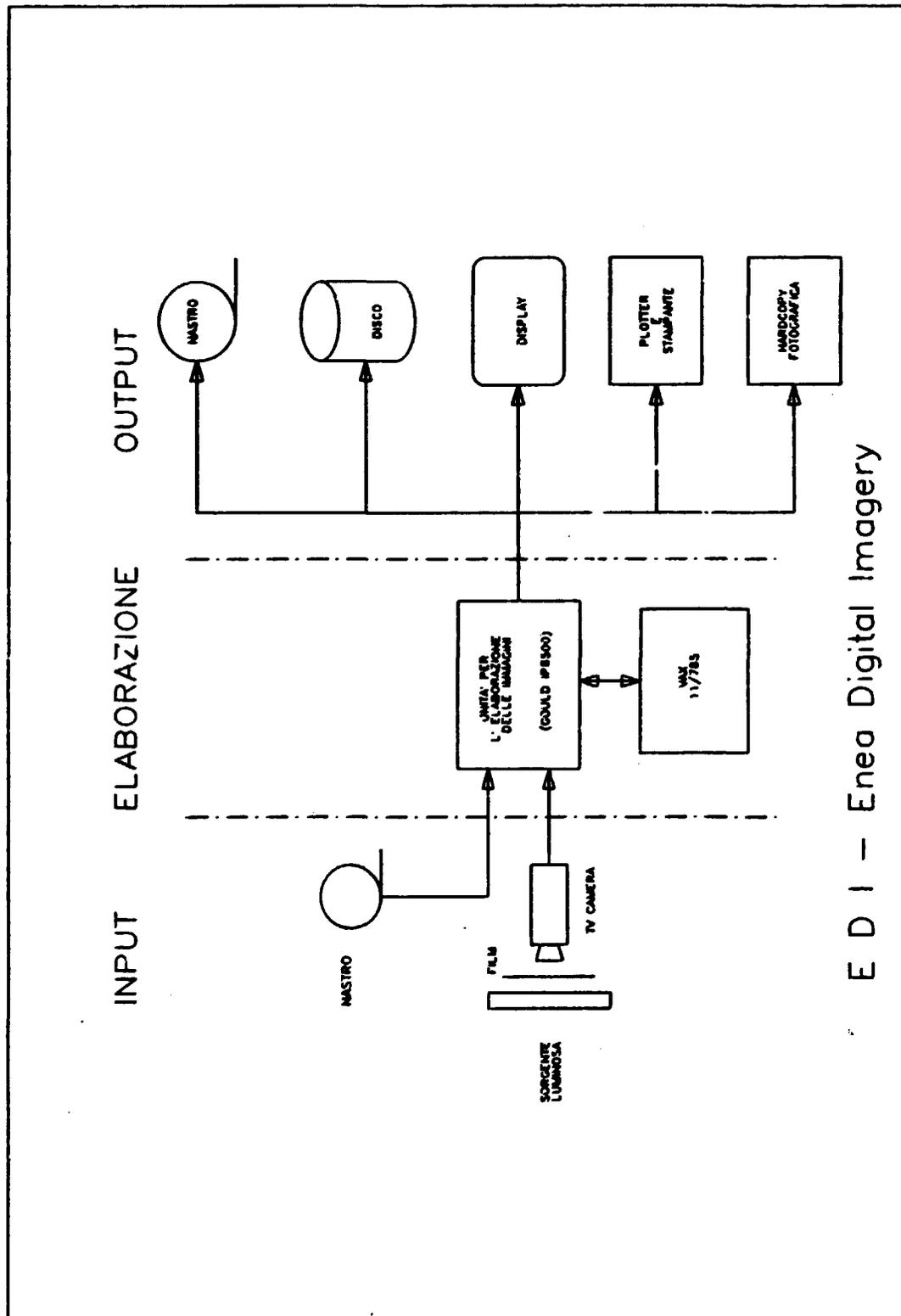
#### 4. SISTEMA EDI

Il sistema EDI (Enea Digital Imagery) è un complesso di apparecchiature e codici di calcolo d'avanguardia, appositamente integrati per effettuare elaborazioni di immagini.

Lo schema a blocchi seguente ne illustra i principali componenti, raggruppandoli in tre classi a seconda della rispettiva funzione. Il 'cuore' del sistema è costituito dall'unità di processo IP8500 GOULD de ANZA, alla quale fanno capo tutti i dispositivi di input e output

I primi sono costituiti da un'unità a nastro magnetico per immagini già convertite in forma digitale, e da una telecamera HAMAMATSU C-1000 per la conversione in tempo reale.

Questo tipo di telecamera presenta una buona stabilità e una bassa distorsione geometrica, mentre il numero di linee di scansione può essere selezionato fra i valori 256, 512 e 1024. Il tubo fotosensibile è di tipo Chalnicon dotato di ottime caratteristiche radiometriche. Infatti, la sensibilità è elevata e il gamma è unitario; inoltre è sufficiente una bassa intensità luminosa per ottenere un segnale utile. Infine la risposta spettrale è costante in tutto l'intervallo delle lunghezze d'onda del visibile.



EDI - Ene Digital Imagery

Le immagini che 'escono' dal successivo processo di elaborazione possono essere visualizzate sul monitor o memorizzate su disco o nastro. Inoltre e' possibile effettuare stampe fotografiche e grafici relativi alle immagini.

L' unita' di elaborazione e' collegata ad un calcolatore VAX 11/785 che svolge funzioni di supervisore.

Va precisato che EDI non e' un sistema specifico per l'esame radiografico, ma uno strumento di lavoro per sviluppare gli algoritmi ed i processi piu' idonei al trattamento delle radiografie.

Dalla conoscenza di questi codici di calcolo sara' possibile indicare i requisiti che dovra' possedere un sistema specifico per l'impiego industriale.

In figura 6 e 7 sono illustrate due tipi di elaborazioni applicate a radiografie di saldature il cui scopo e' quello di evidenziare la presenza di difetti.

La figura 6 riporta in alto a sinistra la radiografia originale con i difetti A B e C, a fianco la radiografia dopo un filtraggio passa-alto; in basso i profili densitometrici rilevati lungo la linea rossa mettono in evidenza il risultato positivo del filtraggio.

La figura 7 illustra la sottrazione tra una radiografia con difetti (originale) e una priva di imperfezioni presa come modello; il risultato e' un' immagine costituita da due livelli di densita' (bianco-nero) che evidenzia la presenza di difetti e ne indica l'estensione.

**BIBLIOGRAFIA**

- A. ROSENFELD  
Picture processing by computer  
ACADEMIC PRESS 1969
- R. C. GONZALES, P WINTZ  
Digital Image Processing  
ADDISON - WESLEY 1977
- G. NAGY  
Optical scanning digitizers  
COMPUTER MAY 1983
- R. C. Mc MASTER  
Nondestructive testing handbook  
THE RONALD PRESS COMPANY 1963
- R. H. MORGAN, K. E. CORRIGAN  
Handbook of radiology  
YEAR BOOK PUBLISHERS 1955
- A. B. DELLA ROCCA, S. FERRIANI  
Sistemi per la conversione in forma  
numerica di radiografie industriali  
ENEA RT-INFO-84/2

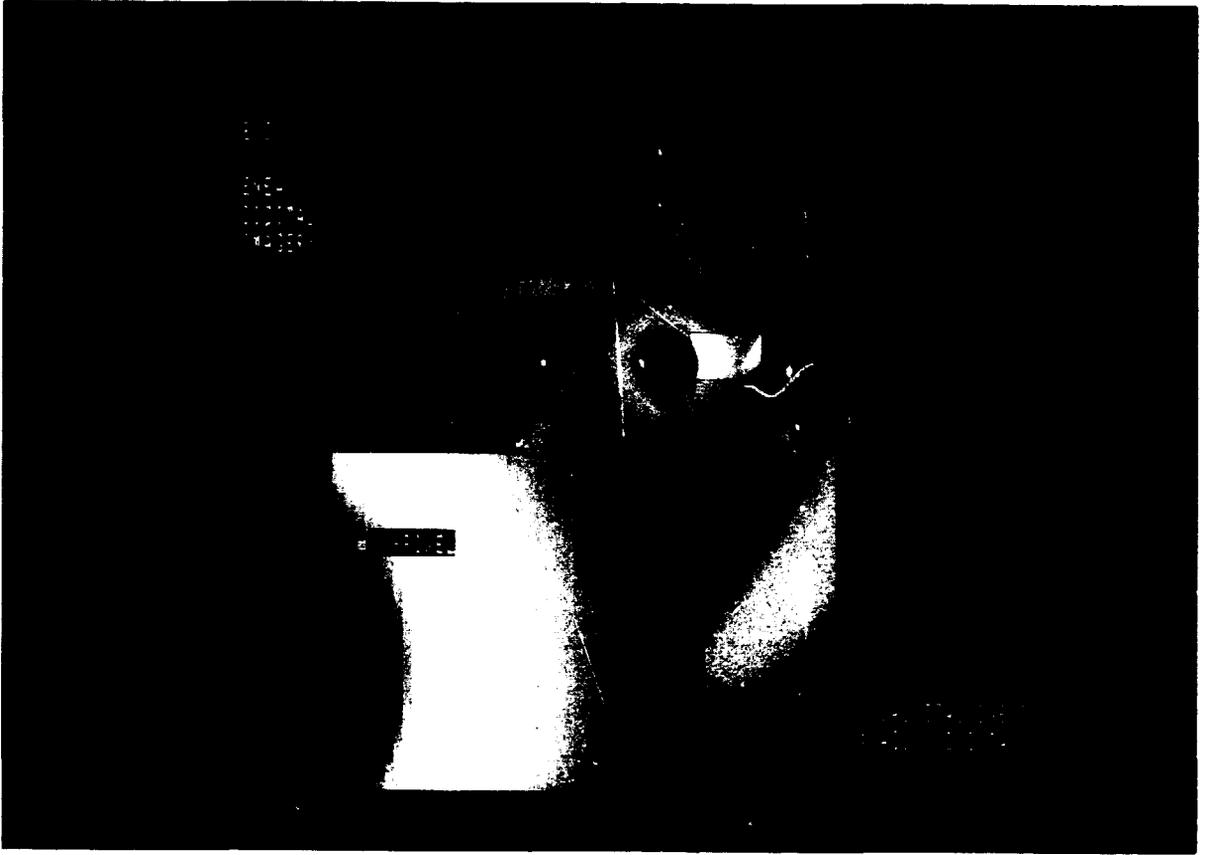


Figura 1

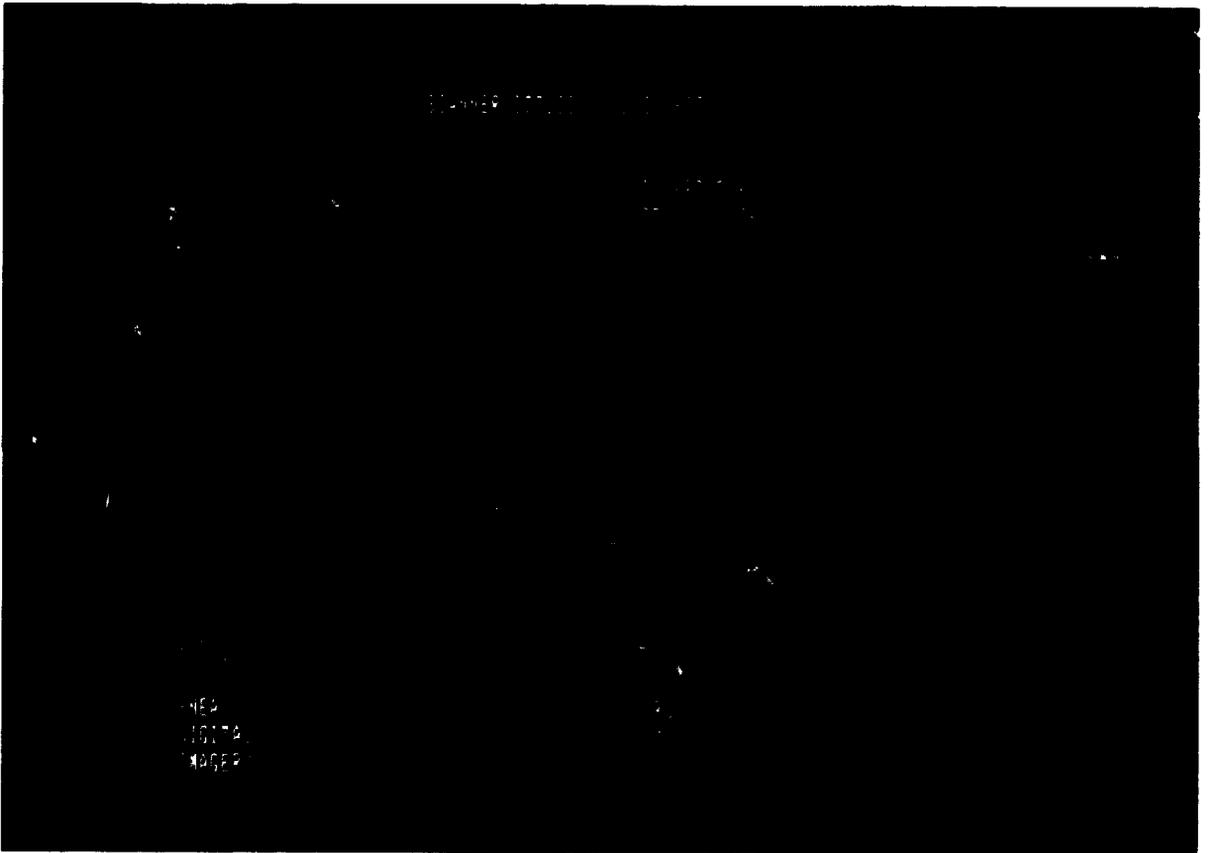


Figura 2

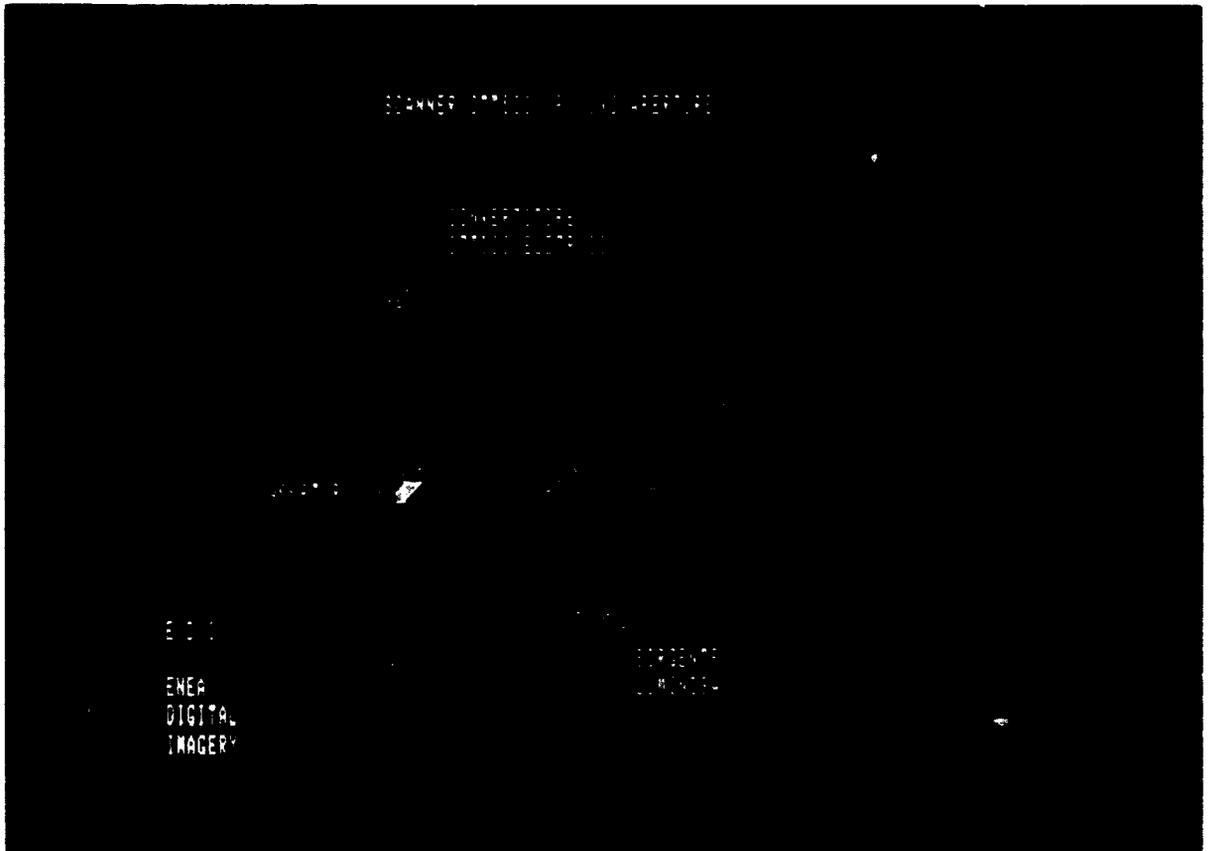


Figura 3

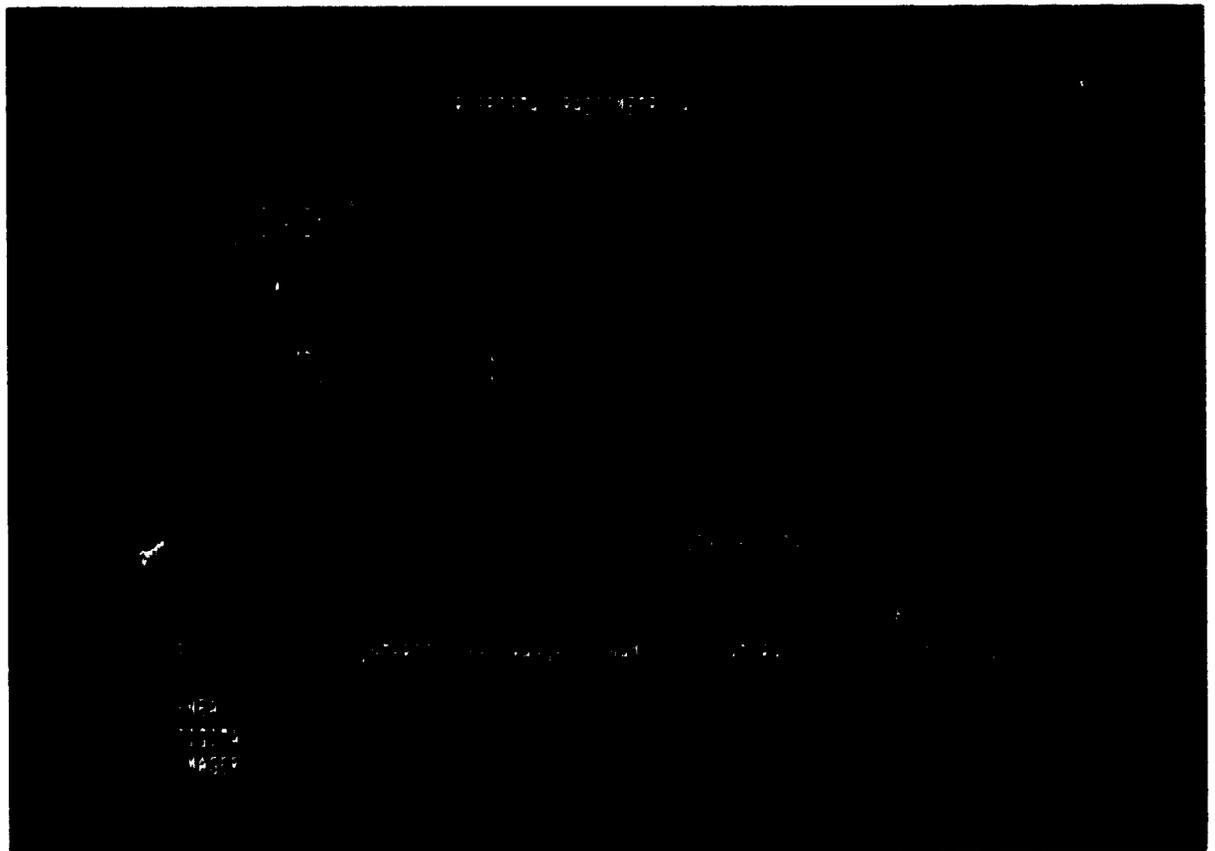


Figura 4

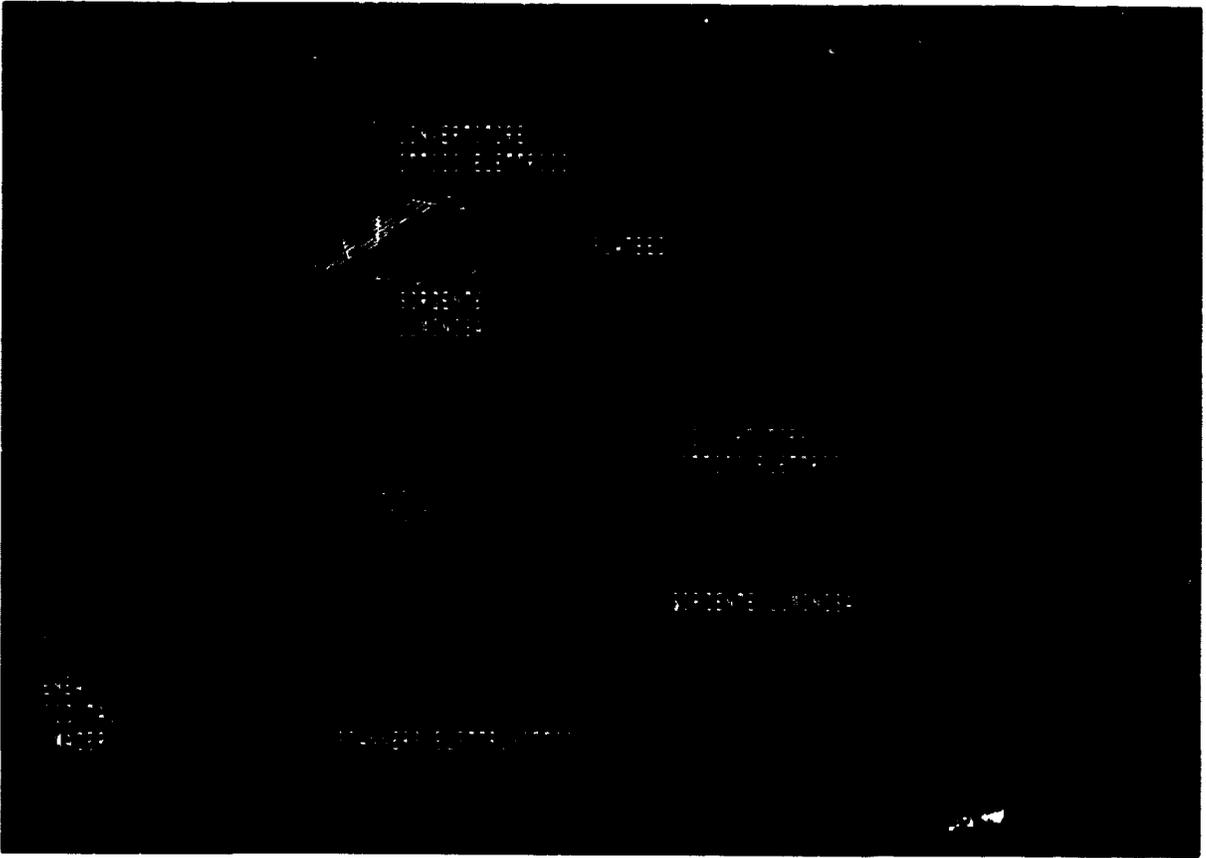


Figura 5

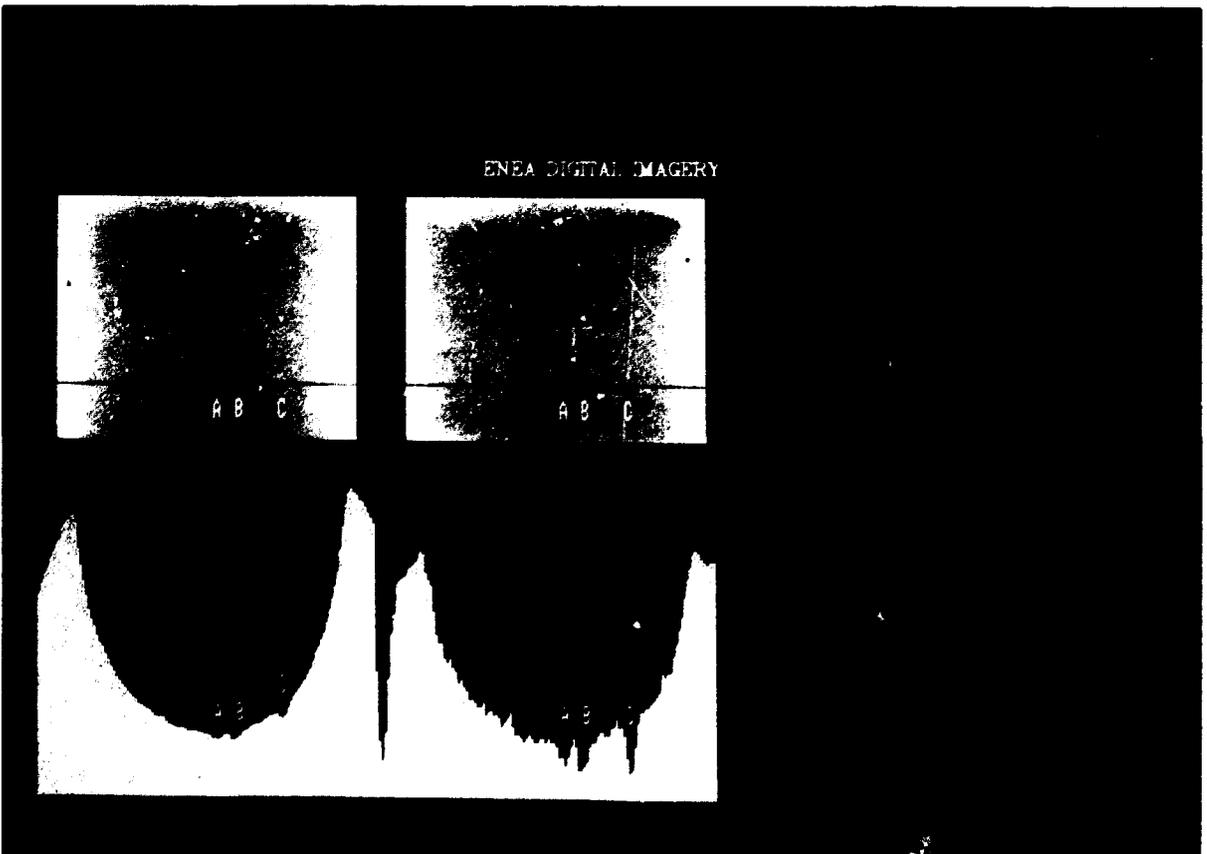


Figura 6



Figura 7

Edito dall'ENEA, Direzione Centrale Relazioni.  
Viale Regina Margherita 125, Roma.  
Finito di stampare nel settembre 1986  
Fotoriproduzione e Stampa Arti Grafiche S. Marcello  
V.le Regina Margherita, 176 - Roma

Questo fascicolo è stato stampato su carta riciclata