

Consiglio Nazionale delle Ricerche

ISTITUTO DI ELABORAZIONE
DELLA INFORMAZIONE

Pisa

PROGETTO DELLA STAZIONE
DI LAVORO MFA/DIGIRAD

*L.Azzarelli, M.Chimenti, O.Salveti
S.Salvadori*

Nota Interna B4-10-1989

SOMMARIO

Introduzione	pag. 1
1. Criteri di progetto di un sistema per il trattamento digitale di radiogrammi	pag. 3
2. Specifiche di progetto del digitalizzatore	pag.11
2.1 Risoluzione spaziale	
2.2 Risoluzione fotometrica e dinamica di misura	
2.3 Formato di lettura	
3. Descrizione dell'architettura della stazione MFA/DIGIRAD	pag.14
3.1 Il digitalizzatore	
3.2 La memoria video	
3.3 L'elaboratore locale e le periferiche standard	
4. Descrizione tecnica del digitalizzatore	pag.19
4.1 Principio di funzionamento	
4.2 Modulo illuminatore	
4.3 Modulo di scansione elettromeccanica	
4.4 Modulo di rivelazione	
4.5 Modulo di controllo	
4.6 Elaboratore locale	
5. Descrizione della componente software	pag.38
5.1 Il gestore di programmi G-DR	
5.2 Il pacchetto applicativo P-DR	
6. Disegni costruttivi del digitalizzatore	pag.43

**PROGETTO DELLA STAZIONE DI LAVORO
MFA/DIGIRAD**

L. Azzarelli*, M. Chimenti*, O. Salvetti*, S. Salvadori**

* Istituto di Elaborazione della Informazione - CNR Pisa

** Meccanica di precisione S. Salvadori s.r.l. - Firenze

Introduzione

L'MFA/DIGIRAD è stato progettato dagli autori nell'ambito del Progetto Finalizzato "Tecnologie Biomediche e Sanitarie" del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Alla individuazione delle caratteristiche tecniche ed operative hanno collaborato ricercatori dell'Istituto di Radiologia dell'Università di Pisa e dell'Istituto di Fisiologia Clinica del CNR di Pisa; lo studio ed il progetto realizzativo sono stati eseguiti in collaborazione fra ricercatori dell'Istituto di Elaborazione della Informazione del CNR e l'industria ottico-meccanica S.Salvadori, che ha ricevuto l'incarico di realizzare un prototipo per la sperimentazione.

L'MFA/DIGIRAD è specializzato nella digitalizzazione dei radiogrammi usati in radiologia o in radioterapia; mediante l'acquisizione l'immagine pittorica contenuta nel radiogramma viene trasformata in dati digitali che possono essere elaborati per il conseguimento di vari risultati, come miglioramento dell'immagine, analisi interpretativa assistita, classificazione e archiviazione: per questi motivi l'MFA/DIGIRAD può essere inserito nelle linee di strumentazione per la diagnosi e la ricerca clinica, e per l'archiviazione elettronica delle immagini.

Quest'ultima possibilità può soddisfare una esigenza profondamente sentita nei centri di dimensioni medie e grandi, poichè l'archivio su supporto digitale consente di ridurre drasticamente lo spazio occupato e di facilitare la reperibilità del materiale classificato; l'archivio elettronico permette inoltre l'accesso remoto ai dati e quindi la consultazione a distanza.

1. CRITERI DI PROGETTO DI UN SISTEMA PER IL TRATTAMENTO DIGITALE DI RADIOGRAMMI

Un sistema integrato per l'elaborazione di immagini è costituito da una componente hardware analogica e digitale (a sua volta suddivisibile in componenti optoelettronici, ottici, elettronici, elettromeccanici e meccanici) e da una componente software e firmware (costituita da vari moduli, programmi e procedure di elaborazione) non scindibile dalla prima.

Per quanto concerne la componente software si ricorda quali sono le principali operazioni da eseguire nell'ambito della radiologia digitale:

- 1) acquisizione dei dati
- 2) preelaborazione
- 3) elaborazione
- 4) restituzione e manipolazione
- 5) archiviazione.

1) L'acquisizione dei dati è la procedura mediante la quale si ricava dal radiogramma in esame una matrice di valori corrispondenti alla densità ottica delle aree elementari (pixel) in cui viene suddivisa l'immagine. Per motivi che saranno chiariti in seguito, il digitalizzatore dell'MFA/DIGIRAD esegue questa operazione facendo uso di un sensore a fotodiodi e di un sistema elettromeccanico di traslazione; per eseguire l'acquisizione è quindi necessario fare uso di un software o firmware che controlla la scansione in base ai parametri forniti dall'utente.

2) I dati grezzi di acquisizione vanno corretti per ottenere i valori esatti, entro i limiti di precisione della macchina, della densità o trasparenza ottica del radiogramma acquisito o della sua esposizione. A questo scopo si fa uso di un software di preelaborazione che esegue varie operazioni, fra le quali si possono ricordare:

- la media temporale, per ridurre gli errori dovuti a fluttuazioni o derive dei vari componenti impiegati;

- la correzione fotometrica, per ridurre gli errori sistematici dovuti ai dispositivi impiegati per l'esposizione e l'acquisizione del radiogramma;
 - la media spaziale, per ridurre gli effetti del rumore presente nel supporto in acquisizione;
 - la compressione dei dati, per ridurre le dimensioni della matrice, o il numero dei bit per pixel (ovviamente a scapito delle risoluzioni spaziale e fotometrica nel caso che i dati di acquisizione non siano ridondanti);
 - la correzione geometrica, per ripristinare l'esatta geometria dell'immagine o per modificarla secondo i parametri selezionati.
- 3) L'elaborazione dei dati è costituita da una vasta gamma di operazioni che servono per eseguire:
- enhancement dell'immagine al fine di facilitare l'interpretazione visiva (per es. mediante la modifica dell'istogramma, l'impiego di pseudo-colori o l'uso di filtri mediani);
 - trasformazioni geometriche;
 - analisi del radiogramma, per l'estrazione di informazioni e la misura di grandezze (misura di contorni, di aree, determinazione di fattori di forma, classificazioni, correlazioni, calcolo di distribuzioni, operazioni logico-aritmetiche, operazioni statistiche).
- 4) Le immagini determinate dai dati di acquisizione o dai risultati delle elaborazioni possono essere restituite sia in forma temporanea sia in forma permanente usando le opportune periferiche (monitor o videocopiatrici).
- Il software preposto alla restituzione e manipolazione di immagini deve gestire le seguenti operazioni:
- caricamento delle matrici dei dati nella memoria che pilota il monitor e viceversa;
 - controllo degli strumenti di interazione (joystick, mouse o tastiera) per la composizione e la manipolazione di immagini o per l'estrazione di parametri

- mosaicatura delle immagini, per ottenere immagini complesse a partire da loro partizioni.

- 5) Le immagini primarie (ricavate dalla acquisizione e dalla preelaborazione) e le immagini derivate (risultanti da elaborazioni e analisi) possono essere immagazzinate in due tipi di archivio: l'archivio temporaneo e l'archivio permanente.

L'archivio temporaneo serve per l'accesso ai file di dati durante le sessioni di elaborazione condotte nella attività di studio e diagnosi: questo archivio deve avere le dimensioni sufficienti a memorizzare un numero contenuto ma sufficiente di matrici (che possono avere però dimensioni piuttosto grandi), deve avere alte velocità di trasferimento e bassi tempi di accesso e deve ovviamente consentire la lettura, la scrittura e la cancellazione; attualmente queste funzioni sono garantite soltanto da supporti magnetici quali i dischi fissi e removibili, gli hard-disk e i floppy disk.

L'archivio permanente serve per l'immagazzinamento di documenti costituiti prevalentemente da immagini ed è usato nella attività clinica per il controllo di dati storici. In applicazioni nel settore radiologico questo archivio deve avere dimensioni sufficienti per immagazzinare la produzione del centro radiografico nell'arco di una decina di anni, deve essere ad accesso protetto in modo da garantire la sicurezza e la riservatezza dei dati, deve mantenere inalterabili le informazioni per il tempo previsto dalla legislazione, e può avere tempi di accesso anche relativamente elevati; attualmente questo tipo di archivio può essere realizzato facendo uso dei dischi ottici.

L'archiviazione temporanea richiede soltanto un software di gestione delle periferiche impiegate che operano sotto un sistema operativo interattivo orientato al problema; l'archiviazione permanente invece richiede un data base specializzato.

Dalla panoramica precedente si deduce che, per realizzare un sistema in grado di svolgere le varie funzioni è necessario prevedere l'impiego di diversi pacchetti software. Alcuni di essi, per esempio quelli relativi alla acquisizione ed a certe operazioni di preelaborazione, possono essere residenti su sistemi di calcolo di piccola capacità, mentre gli altri richiedono l'impiego di calcolatori potenti, sia a causa della complessità computazionale delle operazioni da eseguire, sia per la grande quantità dei dati da trattare, sia infine per il grosso volume di memoria centrale e di massa necessario.

La progettazione di una struttura informatica orientata alla acquisizione, trattamento e gestione di immagini può seguire diversi criteri generali; ad esempio si possono definire modelli di strutture diversificate che pur essendo dotate di identici dispositivi di acquisizione possiedono capacità elaborative diversificate. Si possono avere così (vedi fig.1):

- un modello base, che si comporta come un terminale passivo e che si limita a fornire al calcolatore ospite (host) i dati di acquisizione in base ai comandi elementari di scansione ricevuti;
- un modello intermedio che, facendo uso di un micro calcolatore integrato è in grado di gestire in modo autonomo le operazioni di acquisizione e di eseguire una serie di operazioni di preelaborazione. In questo caso il dispositivo interpreta i macro comandi di acquisizione e fornisce al calcolatore ospite i dati già corretti;
- un terzo modello che, facendo uso di interfacce specializzate e di periferiche aggiuntive (hard-disk, floppy, monitor pittorico, tastiere alfanumeriche, dispositivi di interazione) può eseguire sulle immagini acquisite anche operazioni di enhancement, di elaborazione e di restituzione.

Concludendo, maggiore è la capacità elaborativa propria del sistema, minore è il carico di lavoro lasciato all'eventuale calcolatore ospite, più semplice l'interfacciamento e più

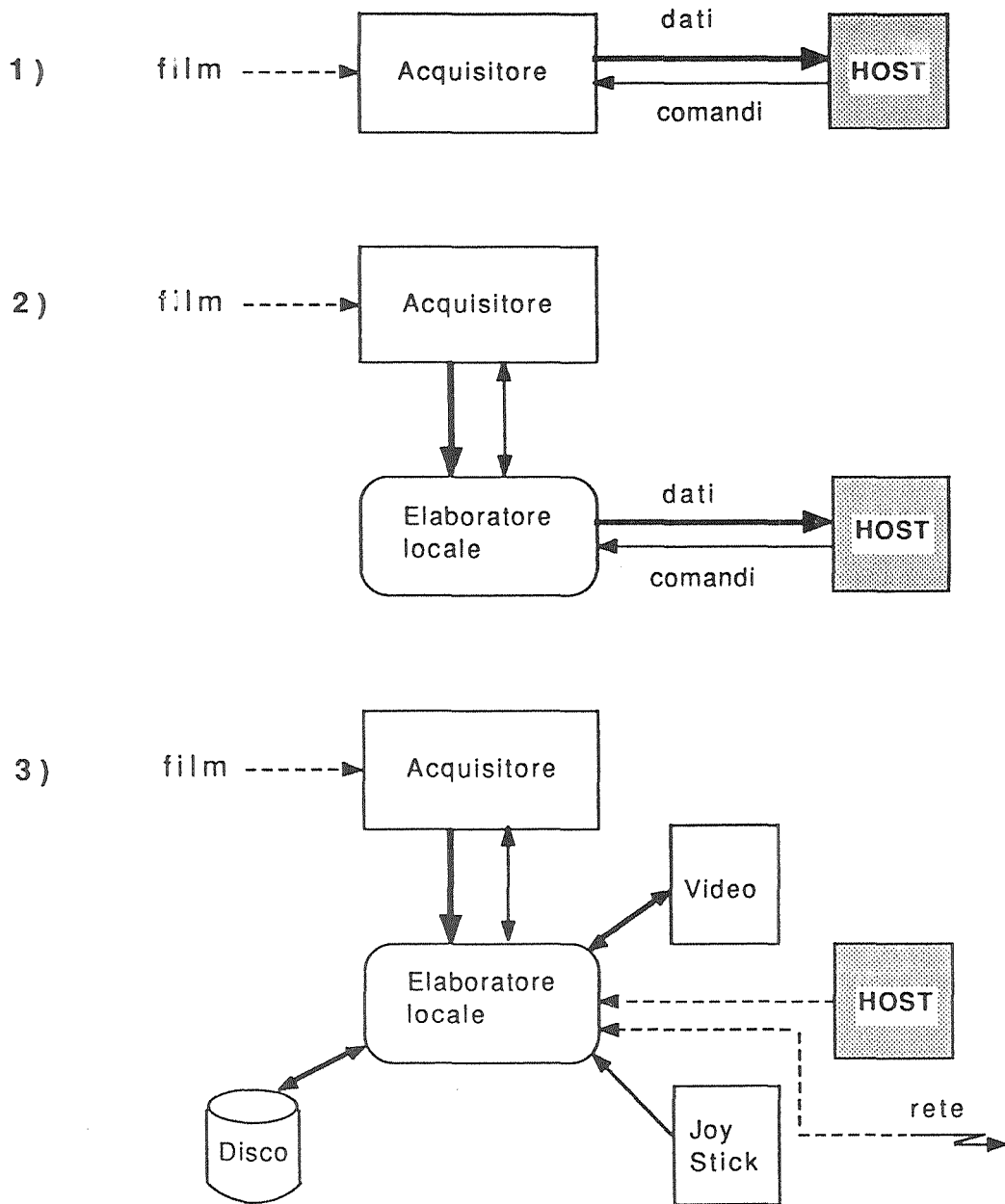


Fig. 1 - Possibili strutture di un sistema per l'acquisizione e l'elaborazione di immagini.

efficiente la gestione; naturalmente se la quantità dei dati è molto grande e se le operazioni richieste sono molto complesse è sempre necessario l'impiego di un calcolatore ospite della categoria mini o supermini e di memorie video e periferiche specializzate, anche di costo notevole, per elaborare e rappresentare correttamente le matrici acquisite.

Riguardo alla definizione dell'elaboratore locale è conveniente orientarsi verso una componentistica di larga diffusione e di tipo standard che permetta un accrescimento modulare, un agevole interfacciamento a vari tipi di calcolatori ospiti e l'impiego di un sistema operativo di larga diffusione.

Un sistema informativo orientato può essere organizzato in stazioni di lavoro con elevato grado di autonomia e modularità; ciò è in particolare attuabile se il settore applicativo è ben individuato, le procedure elaborative correttamente definibili e la varietà dei trattamenti sufficientemente estesa da rendere la struttura economicamente valida.

Nella progettazione dell'MFA/DIGIRAD si è ritenuto che quest'ultimo criterio fosse il più significativo viste le peculiari applicazioni nel settore radiologico nel quale dovrà essere utilizzato; in particolare va ricordato che le formazioni professionali e le competenze degli operatori addetti sono tali da richiedere l'utilizzo di strumenti di grande affidabilità ed efficienza ma di semplice gestione.

L'architettura della stazione di lavoro MFA/DIGIRAD è costituita da tre elementi tra loro integrati in modo da formare un'unica inscindibile struttura: un elaboratore, un dispositivo di acquisizione ed un insieme di procedure elaborative specializzate ed ottimizzate. Vista la complessità e diversificazione delle elaborazioni nonché la molteplicità delle procedure applicative, può risultare utile ed efficiente, al fine di limitare la potenza di calcolo necessaria con vantaggi non indifferenti di carattere economico e di semplicità d'uso,

ipotizzare stazioni diversificate per applicazioni o funzioni pur mantenendo una organizzazione di base comune.

Le varie stazioni così orientate, ad esempio verso l'acquisizione e l'archiviazione, verso l'acquisizione e la preelaborazione, oppure verso l'acquisizione ed il consulto ecc., potranno essere fra loro connesse a costituire eventualmente un sistema informatico distribuito (fig.2). La singola stazione o l'intero sistema, potranno essere collegati a calcolatori ospiti di media o grande potenza per l'esecuzione di particolari elaborazioni molto complesse oppure per l'accesso ad archivi centralizzati.

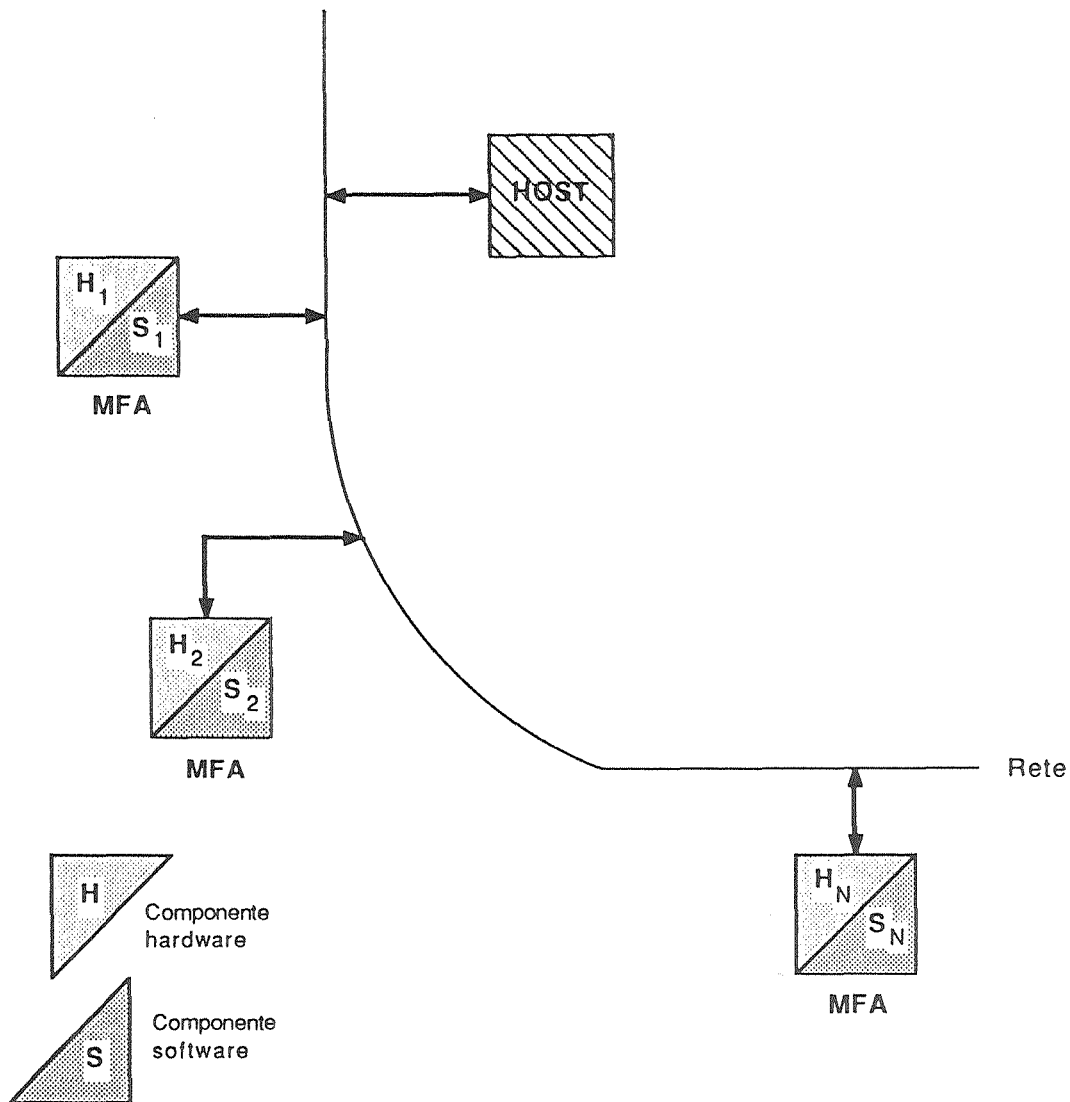


Fig. 2 - Sistema informativo distribuito realizzato con stazioni di lavoro orientate MFA/DIGIRAD.

2. SPECIFICHE DI PROGETTO DEL DIGITALIZZATORE

La periferica di ingresso principale della stazione MFA/DIGIRAD è costituita da un digitalizzatore a controllo numerico.

Le caratteristiche definite nella fase iniziale della progettazione sono state quelle relative alle dimensioni dei formati dei supporti radiologici, alla risoluzione spaziale e fotometrica necessarie, e alla dinamica di misura che il digitalizzatore deve possedere affinché il contenuto informativo sul radiogramma sia acquisito correttamente per le esigenze elaborative e diagnostiche.

2.1 Risoluzione spaziale

I supporti fotografici usati in radiologia hanno un elevato potere risolutivo, ma l'impiego di schermi di rinforzo e di collimatori nonché i movimenti del paziente abbassano notevolmente la risoluzione rispetto al valore teorico; in base all'esperienza dei radiologi e in seguito all'esame di una campionatura del materiale normalmente impiegato, si è stabilito un passo di campionamento dell'ordine di 0,1 mm. Questa risoluzione è sufficiente per acquisire le informazioni contenute in una vasta casistica di radiogrammi; per casi applicativi particolari si sono previsti passi di campionamento variabili tra 0,05 mm e 0,2 mm.

2.2 Risoluzione fotometrica e dinamica di misura

Nei supporti fotografici per la radiologia la regione di esposizione corretta copre un intervallo di 2-3 unità di densità ottica; si può quindi imporre che il dispositivo di acquisizione abbia la capacità di leggere un segnale variabile entro un intervallo massimo di 3 decadi; tale dinamica può essere

eventualmente ottenuta mediante la giustapposizione di intervalli più piccoli.

La risoluzione fotometrica da scegliere dipende da diversi fattori :

- dal rumore sulla pellicola (risultante dalle variazioni statistiche della radiazione in fase di esposizione, dalle caratteristiche del mezzo fotografico, dallo sviluppo ed infine dalla sorgente luminosa usata per la digitalizzazione del fotogramma);
- dalla precisione con cui si intende suddividere il range dinamico;
- dalla curva caratteristica del mezzo usato per la restituzione dell'immagine digitale (per es. la curva caratteristica del monitor televisivo usato per la rappresentazione);
- dalle caratteristiche della percezione visiva, tenendo conto anche della capacità di interpretazione del radiologo.

A questi fattori bisogna aggiungere anche la caratteristica di rapporto segnale/rumore del trasduttore ottico-elettronico usato per l'acquisizione del radiogramma: il sensore infatti va inserito in una macchina da utilizzarsi in normali ambienti di lavoro e non deve quindi richiedere i sistemi di raffreddamento o di controllo necessari per i tipi di sensori aventi prestazioni molto elevate.

Dall'analisi dei punti sopra citati è risultato che la quantizzazione su 256 livelli (8 bit) è sufficiente nella maggior parte dei casi e che la quantizzazione su 1024 classi (10 bit) è sufficiente per l'acquisizione di radiogrammi con dinamiche utili molto alte (3 decenni).

2.3 Formato di lettura

In radiologia si utilizzano prodotti radiografici di vario formato a seconda del tipo di esame da effettuare: il dispositivo di acquisizione deve essere quindi sufficientemente

flessibile per poter digitalizzare, se non tutta, almeno una vasta gamma di formati.

Poichè la risoluzione spaziale della pellicola radiografica è costante, indipendentemente dal formato, l'acquisizione deve essere fatta con un passo di campionamento costante; inoltre, se si usa un rivelatore optoelettronico costituito da una schiera di fotodiodi, la lunghezza della linea di scansione ottenuta con un passo di campionamento p è data dal prodotto $N \cdot p$: di conseguenza, il massimo formato di lettura dipende dalla risoluzione spaziale, determinata in precedenza, e dalla massima dimensione N dei rivelatori disponibili sul mercato.

In base a queste considerazioni, è stato realizzato un prototipo in grado di digitalizzare un formato massimo di 350×400 mm alla risoluzione di $0,1$ mm.

3. DESCRIZIONE DELLA ARCHITETTURA DELLA STAZIONE MFA/DIGIRAD

La stazione è costituita da una componente hardware e da una componente software; la componente hardware (fig.3) è a sua volta suddivisibile dal punto di vista logico in:

- un acquisitore a controllo numerico per la digitalizzazione dei radiogrammi
- una memoria video per la memorizzazione e la rappresentazione di immagini digitali
- un elaboratore locale per la gestione e il trattamento delle immagini
- una memoria di massa per l'archiviazione di dati, immagini e programmi
- dispositivi di interazione e colloquio.

3.1 Il digitalizzatore

Dal punto di vista funzionale il digitalizzatore x,y a controllo numerico è costituito da (v. fig.4):

- 1) un modulo illuminatore I, composto dalla sorgente di luce, dai relativi componenti ottici per convogliare ed uniformare il flusso luminoso, dal sistema di alimentazione della lampada
- 2) un modulo di scansione elettromeccanica SM che comprende: la struttura complessiva di supporto, il sistema di trascinamento del carrello porta-lastra, il motore di avanzamento e relativo attuatore elettronico, il rivelatore di posizionamento, il porta-lastra, il bromografo per l'indagine visiva del radiogramma e la determinazione delle coordinate di acquisizione
- 3) un modulo di rivelazione del flusso luminoso R, che comprende: il trasduttore optoelettronico, la relativa elettronica di pilotaggio, i sistemi meccanici per gli allineamenti statici del rivelatore e dell'obiettivo di

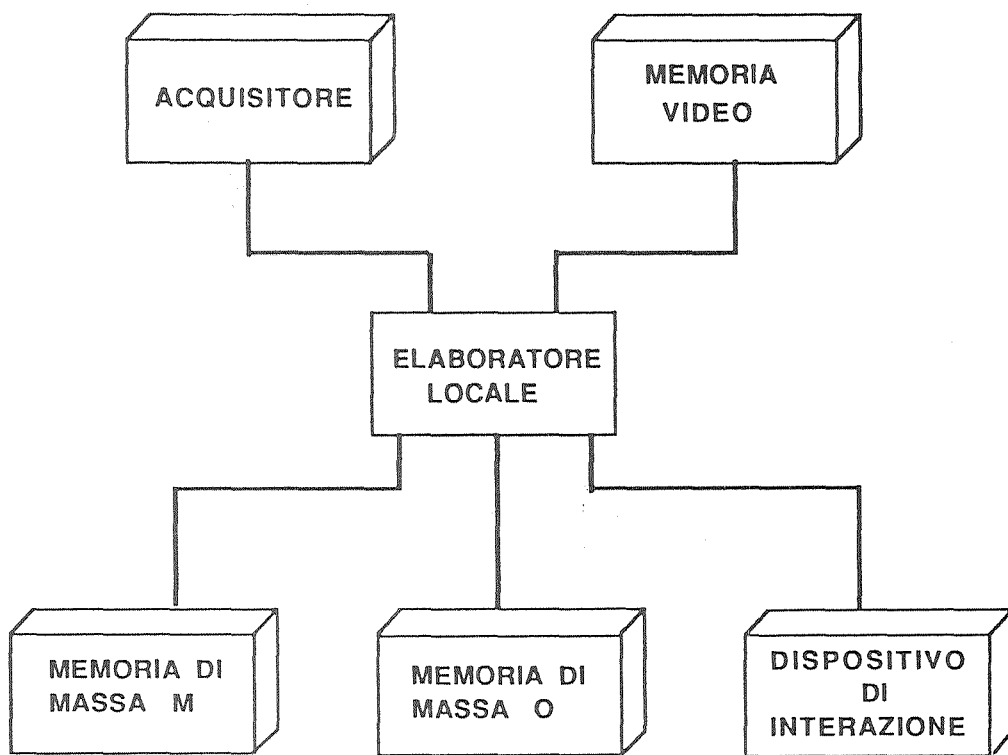


Fig. 3 - Componente hardware della stazione MFA/DIGIRAD

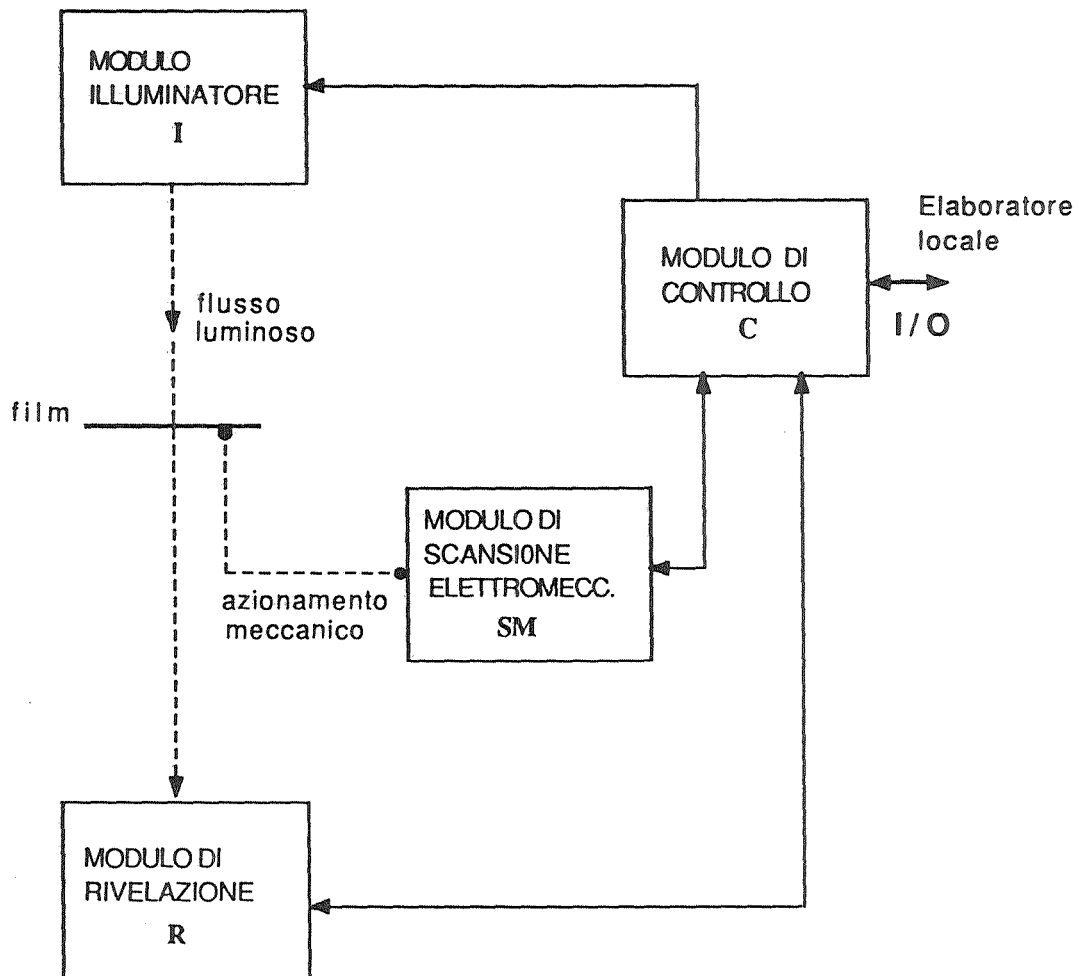


Fig. 4 - Schema funzionale dei moduli costituenti il digitalizzatore a controllo numerico

focalizzazione, i sistemi elettromeccanici a controllo numerico per la variazione degli ingrandimenti e del diaframma

- 4) un modulo di controllo C, costituito dai circuiti digitali per il controllo dell'ingrandimento, del diaframma dell'obiettivo, del motore di avanzamento, della conversione analogica-digitale del segnale rivelato e dell'interfaccia con l'elaboratore locale.

3.2 La memoria video

Nella stazione è integrata una memoria video in grado di immagazzinare i dati digitali provenienti dall'acquisitore; i dati sono organizzati in matrici numeriche le cui dimensioni dipendono dalla risoluzione di acquisizione e dal formato dell'immagine.

La dimensione massima della matrice memorizzabile nella memoria video è di 1024×1024 elementi (pixel) espressi con numeri compresi fra 0 e 255, corrispondenti a valori di densità ottica, trasparenza o esposizione.

Nella memoria video possono essere inviate anche matrici ottenute dalla elaborazione di quelle di acquisizione. Alla memoria video è collegato un monitor TV a colori mediante opportuni convertitori digitali-analogici; ciò consente di visualizzare l'immagine digitale per l'indagine e l'analisi visiva e l'eventuale interazione.

3.3 L'elaboratore locale e le periferiche standard

L'elaboratore locale integrato nella stazione è della categoria "*micro*" con elevate prestazioni soprattutto in termini di velocità elaborativa e precisione anche mediante l'impiego di coprocessori matematici. L'elaboratore locale accede a memorie di massa di tipo magnetico, per la memorizzazione temporanea di programmi, dati ed immagini e memorie di

massa di tipo ottico, per la memorizzazione permanente delle immagini di acquisizione o di sintesi.

All'elaboratore locale possono essere collegati diversificati dispositivi di interazione operatore-macchina (joystick, tablette, mouse). L'elaboratore, e quindi la stazione, può infine essere collegato mediante interfacce standard ad altre stazioni analoghe oppure a reti locali o geografiche per la trasmissione e la consultazione remota.

4. DESCRIZIONE TECNICA DEL DIGITALIZZATORE

4.1 Principio di funzionamento

Prima di illustrare dettagliatamente i moduli che costituiscono l'acquisitore a controllo numerico, ne viene sinteticamente illustrato il principio di funzionamento; il progetto è stato condizionato sia dalla varietà dei formati di acquisizione sia dalle caratteristiche di risoluzione spaziale necessarie per una corretta acquisizione delle specifiche immagini radiologiche. In particolare si è ritenuto opportuno utilizzare un sensore lineare costituito da 2048 fotodiodi adiacenti con superficie sensibile di forma quadrata e lato l di 15 micron

Lo schema del principio di funzionamento è riportato in fig. 5.

Una sorgente di luce lineare illumina in modo uniforme una striscia del radiogramma lungo l'asse x , il flusso luminoso trasmesso viene raccolto dall'obiettivo O e focalizzato sul sensore S rigidamente allineato con la sorgente di luce lineare e con l'obiettivo. Ciascun fotoelemento del sensore riceve quindi il flusso luminoso trasmesso globalmente da una corrispondente area elementare del radiogramma con dimensione $A' = \frac{l^2}{M}$ dove M è il rapporto di ingrandimento dato da: $M = \frac{h_i}{h_o}$.

La scansione lungo l'asse x viene effettuata elettronicamente sul sensore che, opportunamente sincronizzato, fornisce un segnale video proporzionale alla trasparenza della striscia di radiogramma in esame.

La scansione nella direzione y viene eseguita traslando il radiogramma di un passo P , il cui valore dipende dalla risoluzione richiesta e dal rapporto di ingrandimento M , secondo la relazione $P = \frac{l}{M}$. L'intero supporto radiologico

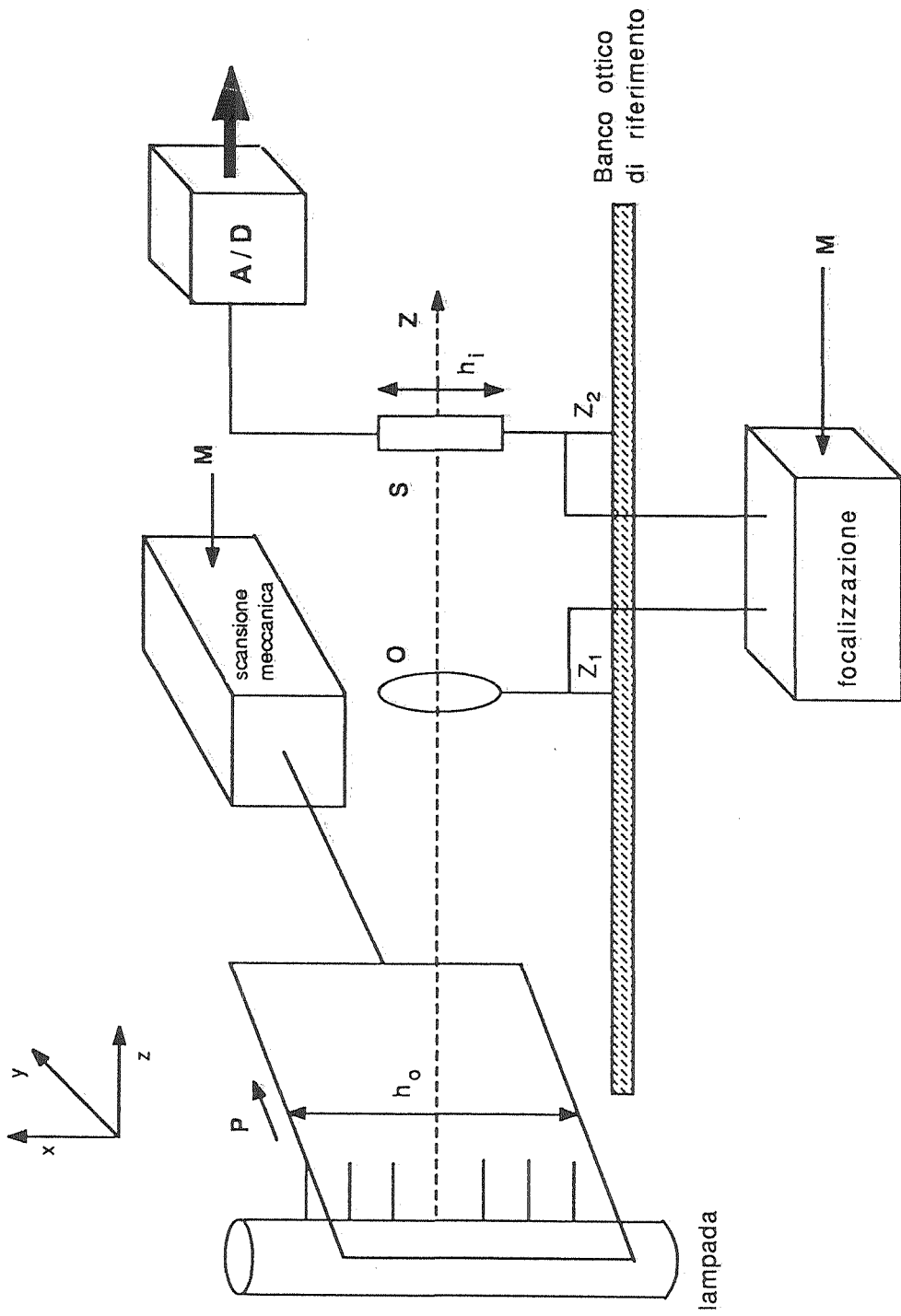


Fig. 5 - Principio di funzionamento del digitalizzatore

viene quindi esplorato e convertito per righe successive ricavando una matrice $B=n \times m$ ove il numero di righe n e il numero delle colonne m dipendono dal formato del supporto e dalla risoluzione.

Il segnale analogico in uscita dal sensore viene convertito in un corrispondente segnale digitale da un convertitore analogico-digitale a 8 o 10 bit a seconda della dinamica di misura desiderata di densità ottica (2 o 3 decadi).

Utilizzando un obiettivo di focale f le distanze di lavoro lastra-obiettivo e obiettivo-sensore dipendono dall'ingrandimento M che a sua volta è funzione della risoluzione desiderata; se si vuole campionare con una risoluzione spaziale diversa è dunque necessario variare le distanze di lavoro. Questi spostamenti sono ottenuti mediante un sistema elettromeccanico a controllo numerico che trasla lungo l'asse ottico dello strumento il corpo dell'obiettivo e il supporto del trasduttore optoelettronico; questi due componenti vengono posti, in base ai comandi inviati dal circuito di controllo, nelle coppie di coordinate Z_1 e Z_2 corrispondenti al rapporto di ingrandimento selezionato.

Un obiettivo a focale variabile consentirebbe di ottenere risoluzioni diverse lasciando in posizione fissa il sensore; si è preferito però un obiettivo a focale fissa perchè in questa maniera si ottiene una caratteristica di trasferimento costante per i diversi ingrandimenti e superiore a quella media di un obiettivo zoom.

4.2 Modulo illuminatore

La sorgente luminosa impiegata per acquisire un radiogramma deve essere in grado di illuminare una superficie di 500 mm di lunghezza e di circa 1 mm di altezza. L'illuminamento di tale zona deve essere uniforme e di valore sufficientemente elevato affinchè il flusso luminoso trasmesso dal radiogramma sia tale da ottenere un elevato rapporto

segnale/rumore all'uscita del sensore; la sorgente deve essere inoltre stabile nel tempo al fine di consentire una corretta quantizzazione del flusso luminoso rivelato dal sensore; secondo le necessità di utilizzo e delle caratteristiche radiometriche del supporto da acquisire (velocità di acquisizione richiesta dalle specifiche applicazioni, range dinamico della densità ottica dei radiogrammi, risoluzione radiometrica ecc.) possono quindi essere impiegate sorgenti di luce diversificate ma fra loro intercambiabili mediante opportuni adattatori.

A questo scopo sono stati realizzati tre diversi tipi di sorgente di luce:

- una sorgente costituita da una lampada alogena puntiforme e da una guida di luce a fibre ottiche di 0.05 mm di diametro; questo tipo di sorgente presenta una distribuzione di emissione con un sufficiente grado di uniformità ottenuta mediante una opportuna distribuzione delle fibre ottiche e l'impiego di un opportuno diffusore (v. fig.6)
- una sorgente basata su una lampada alogena lineare inserita in un cilindro diffondente dotato di una fessura rettangolare di uscita di dimensioni uguali all'area da illuminare. Opportuni filtri diffondenti migliorano ulteriormente l'uniformità del flusso luminoso di uscita; l'impiego di questo tipo di sorgente, che presenta vantaggi di economicità rispetto a quella precedentemente descritta, è limitato per l'acquisizione di supporti radiologici di medio formato a causa di vincoli imposti dalle dimensioni massime delle lampade (v. fig.7)
- una sorgente basata su un tubo fluorescente con un riflettore esterno ottenuto con un deposito di cromo. Questa sorgente ha una buona uniformità di emissione ed è molto stabile nel tempo; l'intensità di emissione è regolabile agendo, mediante un'apposita elettronica di controllo, su un circuito stabilizzatore che controlla la corrente nel tubo fluorescente. Le dimensioni di questo tipo di sorgente sono tali da

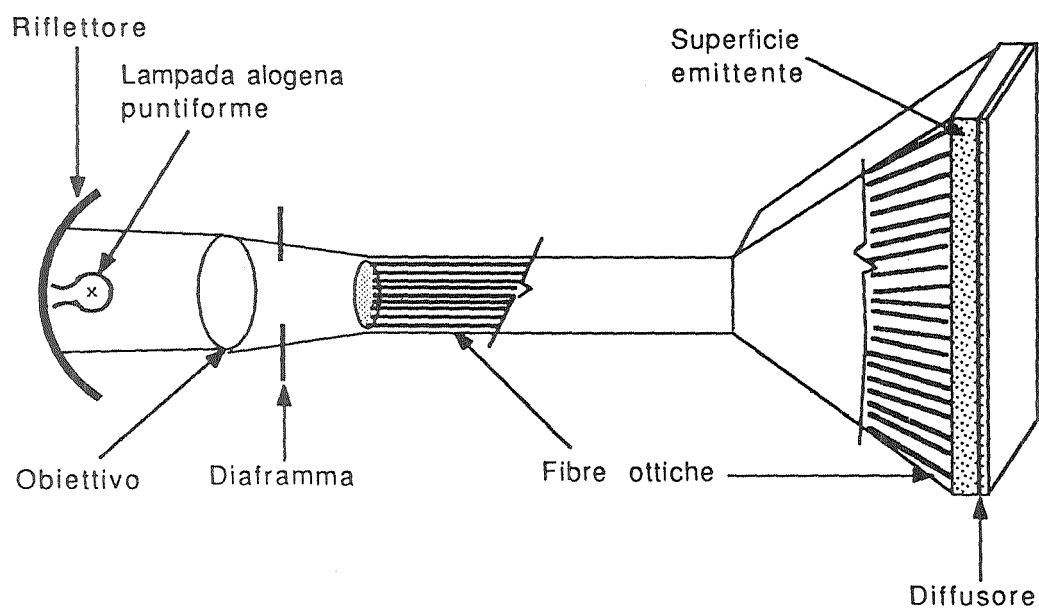


Fig. 6 - Sorgente di luce con fibre ottiche

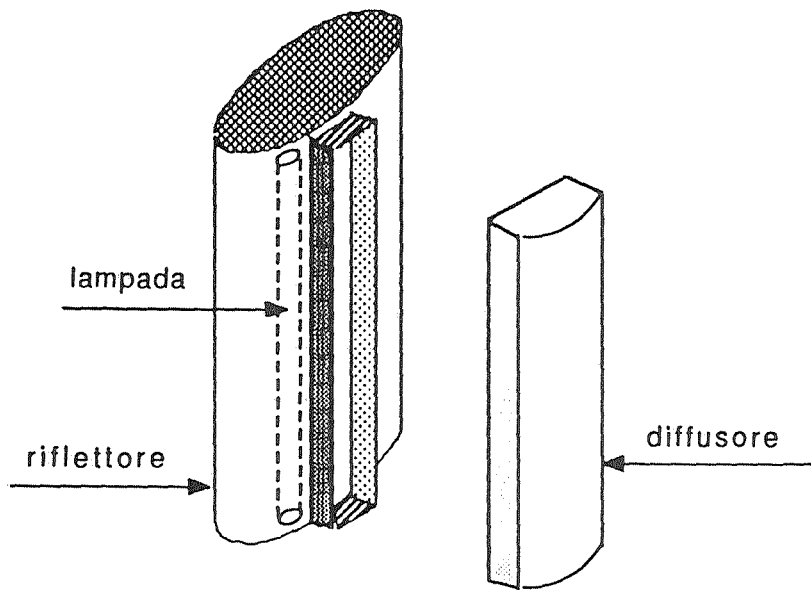


Fig. 7 - Sorgente di luce con lampada alogena lineare

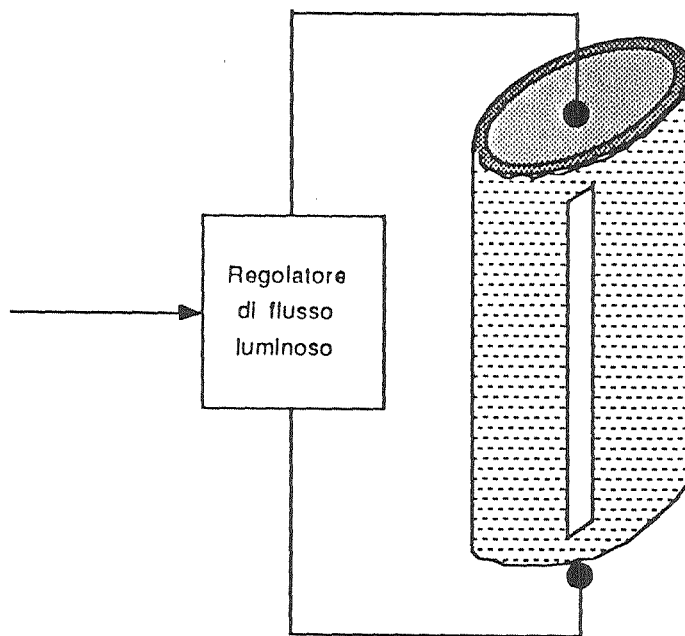


Fig. 8 - Sorgente di luce con tubo fluorescente

consentire l'illuminamento di gran parte dei formati delle immagini radiologiche; il costo complessivo (lampada e dispositivi di controllo) risulta essere molto contenuto mentre l'intensità del flusso luminoso ne limita l'impiego in un range di misura contenuto (2,5 decadi).

4.3 Modulo di scansione elettromeccanica

Il modulo di scansione elettromeccanica provvede al trascinamento del radiogramma al fine di passare da una linea di scansione alla successiva, secondo il principio di funzionamento richiamato in precedenza.

Il modulo è illustrato schematicamente in fig. 9. Gli elementi fondamentali che producono e controllano il movimento sono il motore MS, il convertitore di movimento CM, il carrello CA, una coppia di guide G, l'encoder E e il porta lastra PL.

La scansione lungo l'asse y è ottenuta mediante un motore P.P. comandato da un attuatore e da un sistema meccanico per la conversione dell'avanzamento angolare discreto q in avanzamenti lineari discreti P. La conversione moto angolare-moto lineare, può essere fatta in due modi:

- 1) riduttore meccanico collegato all'albero motore e ad una vite a circolazione di sfere di passo PV. L'avanzamento lineare P è allora dato da:

$$P = \frac{PV \cdot R}{N} \text{ dove}$$

$$N = \frac{\text{numero passi motore}}{\text{giro}} \quad \text{e R è il rapporto di riduzione.}$$

Scegliendo opportunamente il passo della vite e il rapporto del riduttore si può ottenere un passo elementare qualsiasi; in pratica però si trovano disponibili solo viti a circolazione di sfere con passo standard che, utilizzate con i possibili

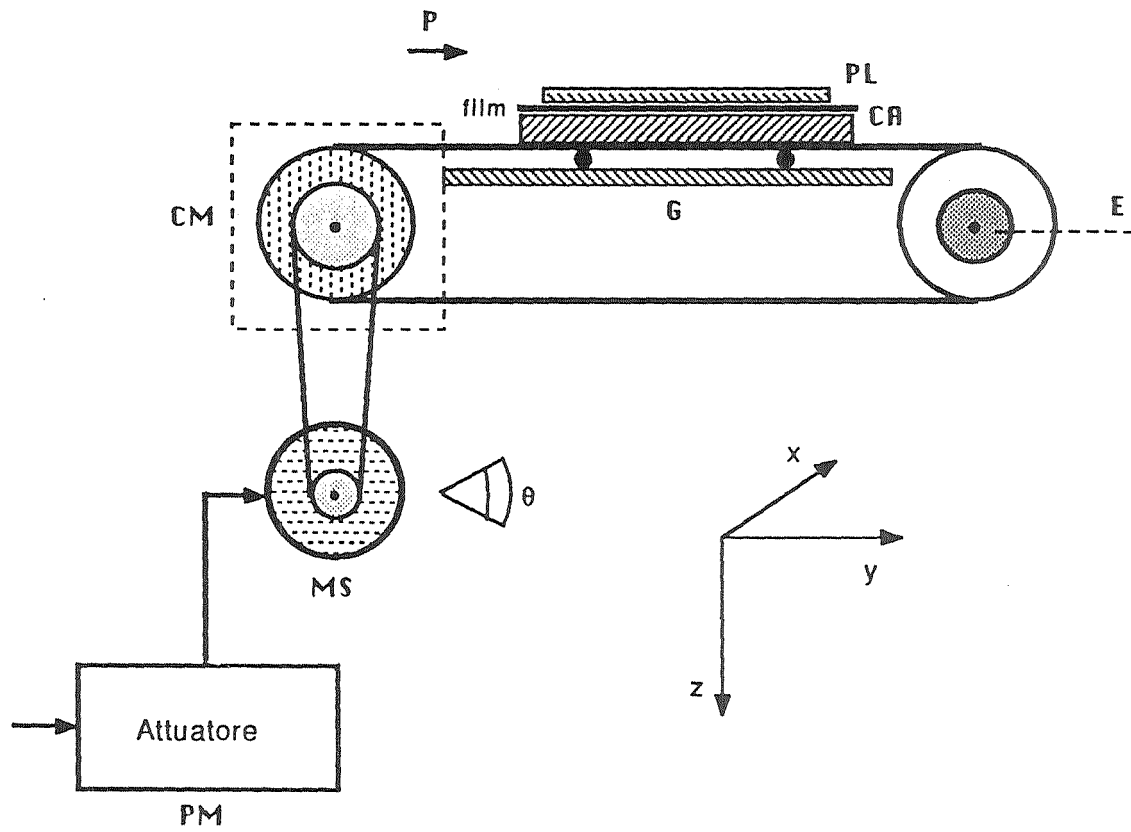


Fig. 9 - Modulo di scansione elettromeccanica

valori di rapporto di riduzione, consentono di ottenere un insieme di passi elementari standard; per ottenere un passo P qualsiasi è necessario realizzare appositi viti che comportano un alto costo di produzione

- 2) riduttore a cinghia dentata collegata al motore e ad una puleggia che trascina un nastro metallico. In questo caso l'avanzamento lineare è dato da

$$P = \frac{\pi \cdot D \cdot R}{N} \quad \text{dove } D \text{ è il diametro della puleggia.}$$

Variando R o D si può ottenere un passo elementare P qualsiasi: questo sistema è più economico di quello con vite a circolazione di sfere e può essere utilizzato con vantaggio per passi P maggiori di 0,05 mm; per passi di avanzamento minori è più conveniente l'impiego di viti a circolazione di sfere.

I motori P.P. impiegati per l'avanzamento provocano accelerazioni elevate che inducono oscillazioni nel sistema meccanico di traslazione e quindi una temporanea indeterminazione del posizionamento; è necessario allora prevedere dei dispositivi di smorzamento per ridurre queste oscillazioni.

Nel sistema di trascinamento a nastro ciò è parzialmente ottenuto mediante l'elasticità della cinghia del riduttore per cui lo smorzatore può essere omesso; nel sistema di trascinamento con vite a circolazione di sfere è invece indispensabile collegare all'albero del motore uno smorzatore che può essere di tipo meccanico od idraulico a seconda dei carichi e della ampiezza delle oscillazioni. E' comunque sempre previsto uno smorzatore elettronico che riduce le accelerazioni regolando la corrente di pilotaggio del motore.

Al sistema di movimentazione è vincolato un carrello di traslazione che è costituito da un banco in vetro ottico che scorre su guide di precisione e sul quale viene collocato il radiogramma da acquisire: un pressa lastra in vetro ottico

blocca il radiogramma delimitando nel contempo il campo utile di acquisizione; poichè i formati dei radiogrammi sono diversificati, è prevista una serie di porta-lastre intercambiabili.

La posizione del porta-lastra, e conseguentemente la coordinata di scansione lungo l'asse y, viene misurata e controllata mediante un encoder; gli estremi di inizio e fine corsa sono individuati da interruttori di tipo meccanico od optoelettronico che inviano segnali al controllore locale.

Sottostante al carrello è collocato un bromografo che può illuminare l'intero radiogramma per una sua ispezione visiva e per la determinazione, mediante un apposito coordinatografo, delle coordinate di acquisizione, nonchè per la registrazione del radiogramma rispetto a eventuali punti di riferimento fissi o comunque noti.

Per acquisire il radiogramma il modulo di controllo locale C (v. fig.4) invia l'impulso di comando al circuito di pilotaggio motore PM, il quale fa avanzare di un passo il motore; la rotazione del motore viene trasferita, attraverso il riduttore, alla vite in modo che il portalastra avanza di un passo elementare. L'encoder E fornisce al controllo C gli impulsi usati per verificare il corretto avanzamento e per misurare l'effettiva coordinata di scansione: la coordinata attuale è indicata in forma numerica su un visualizzatore digitale.

La tabella 1 riassume le caratteristiche del modulo di scansione di un prototipo del digitalizzatore realizzato con un avanzamento con vite a circolazione di sfere.

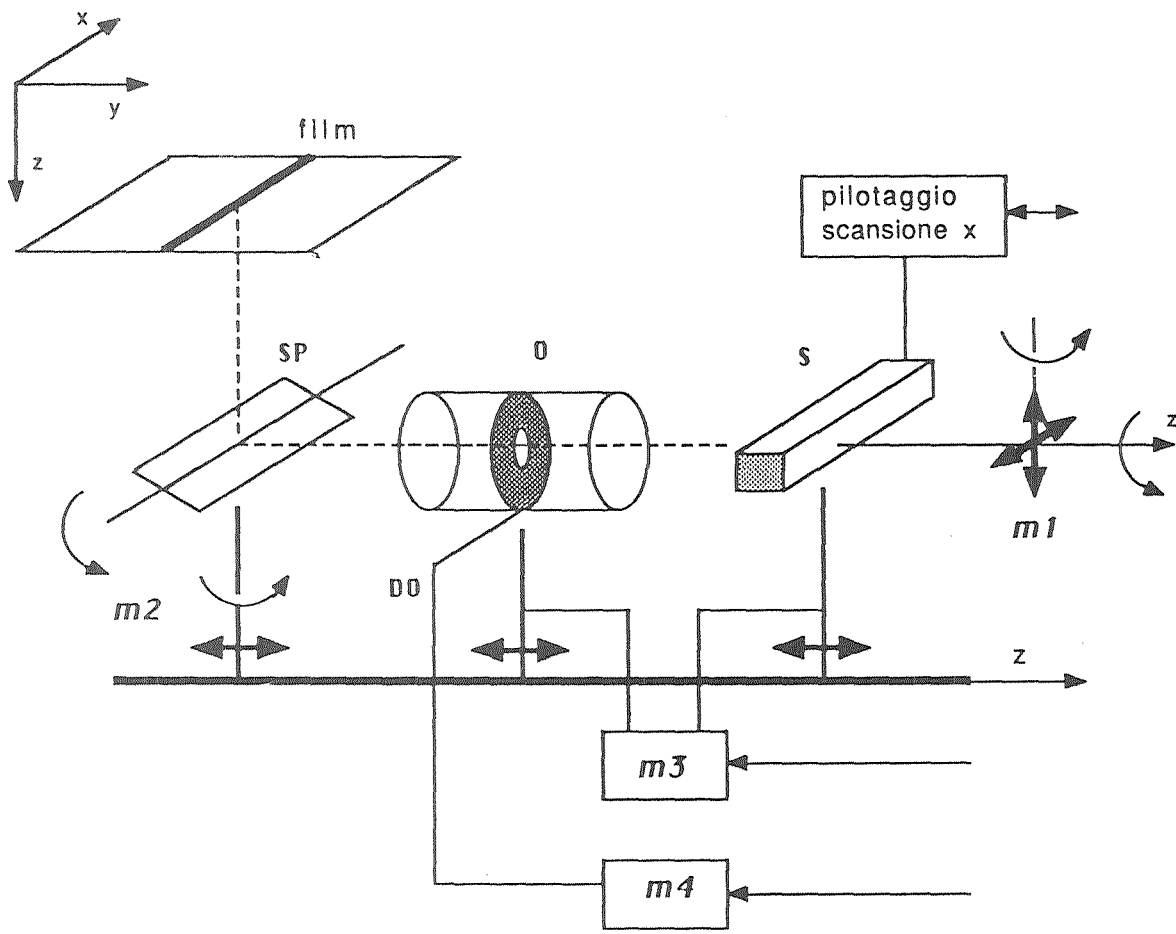


Fig. 10 - Modulo di rivelazione

Tipo di motore	passo-passo
risoluzione angolare	1.8°
precisione di avanzamento singolo	3%
coppia	~ 1 N·m
potenza	~ 20 W
velocità di inversione	400 passi/s
passo della vite di precisione	10 mm/giro
lunghezza vite	500 mm
precisione	0,010 mm su 300 mm
rapporto del riduttore	1:25
dimesioni del portalastra	400 mm x 500 mm

Tabella 1

4.4 Modulo di rivelazione

Il modulo di rivelazione è mostrato in fig.10. Secondo quanto accennato nel principio di funzionamento, la luce trasmessa dal radiogramma in corrispondenza della riga di scansione selezionata viene riflessa da uno specchio SP ruotato di 45° rispetto all'asse z. La luce proveniente dallo specchio viene focalizzata mediante un obiettivo O attraverso il diaframma DO sulle superficie fotosensibile del sensore optoelettronico S: le distanze tra il porta-lastra, l'obiettivo e il sensore sono tali che su quest'ultimo si forma un'immagine della striscia di radiogramma con un rapporto di ingrandimento M.

Il sensore è costituito da celle sensibili quadrate di lato l ; di conseguenza la striscia di fotogramma vista dal sensore è suddivisa in N aree elementari di lato $P = \frac{l}{M}$.

Il circuito di pilotaggio del sensore, in risposta ad un comando proveniente dal modulo di controllo C, esegue una scansione del radiogramma nella direzione x, inviando al controllo una sequenza temporale di N valori di

campionamento del segnale prodotti da ciascuna cella del sensore.

Il modulo di rivelazione è costituito da un insieme di dispositivi, mediante i quali si compiono operazioni di allineamento ottico dei vari componenti, eseguite nella fase di taratura iniziale o in caso di sostituzione di componenti, e di dispositivi per la regolazione delle distanze dei vari componenti al fine di poter modificare la risoluzione spaziale di campionamento:

- m_1 : regolazione manuale su quattro gradi di libertà della posizione del sensore
- m_2 : regolazione manuale su tre gradi di libertà della posizione dello specchio
- m_3 : dispositivo elettromeccanico comandato dal modulo di controllo per lo spostamento lungo l'asse z dell'obiettivo e del sensore
- m_4 : dispositivo elettromeccanico comandato dal modulo di controllo o manualmente per la regolazione dell'apertura del diaframma dell'obiettivo.

Nel prototipo realizzato è stato utilizzato un obiettivo di 90 mm $f/1,4$: in questo modo l'angolo di vista α dell'obiettivo è tale che anche esaminando il massimo formato la distorsione fotometrica con andamento $\cos^4\alpha$ è inferiore all'1%; l'apertura numerica consente di misurare con un rapporto segnale/rumore accettabile valori di densità ottica nell'intervallo 0-3.

La tabella 2 riassume le caratteristiche del sensore montato nella versione prototipo.

Sensore a barretta con 2048 fotodiodi	RC2048 H
area sensibile del singolo fotodiodo	15x15 μm
spaziatura fra i fotodiodi (passo scansione)	15 μm
sensività	0.8 pA/uW/cm ²
disuniformità della sensitività	$\pm 5\%$
rapporto segnale/rumore (comparato con il rumore rms di ogni pixel)	3000/1

Tabella 2

4.5 Modulo di controllo

Il modulo di controllo è in grado di interpretare ed eseguire i comandi forniti dall'elaboratore locale. Per eseguire una digitalizzazione il modulo di controllo riceve i seguenti comandi:

- 1) impostazione dell'ingrandimento
- 2) regolazione del diaframma
- 3) spostamento di un passo elementare nella direzione y
- 4) lettura della riga di scansione corrente (scansione x).

I comandi 1 e 2 vengono inviati ed eseguiti prima di compiere la scansione dell'immagine; i comandi 3 e 4 sono inviati in sequenza per il numero di volte necessario per ottenere la matrice di acquisizione.

Lo schema del modulo di controllo è mostrato in fig.11. L'elaboratore locale invia i codici di comando tramite una porta parallela su una rete di decodifica la quale, interpretando i codici, invia al modulo di scansione elettromeccanica SM il comando 3 e al modulo di rivelazione R i comandi 1, 2 e 4.

Il modulo di controllo invia al calcolatore i dati digitali di acquisizione prodotti da un convertitore A/D e la risposta di comando eseguito: indicazione di spostamento avvenuto, nel caso che il comando da eseguire fosse di tipo 3, oppure sincronizzatore della stringa di dati di lettura, nel caso in cui il comando eseguito sia di tipo 4.

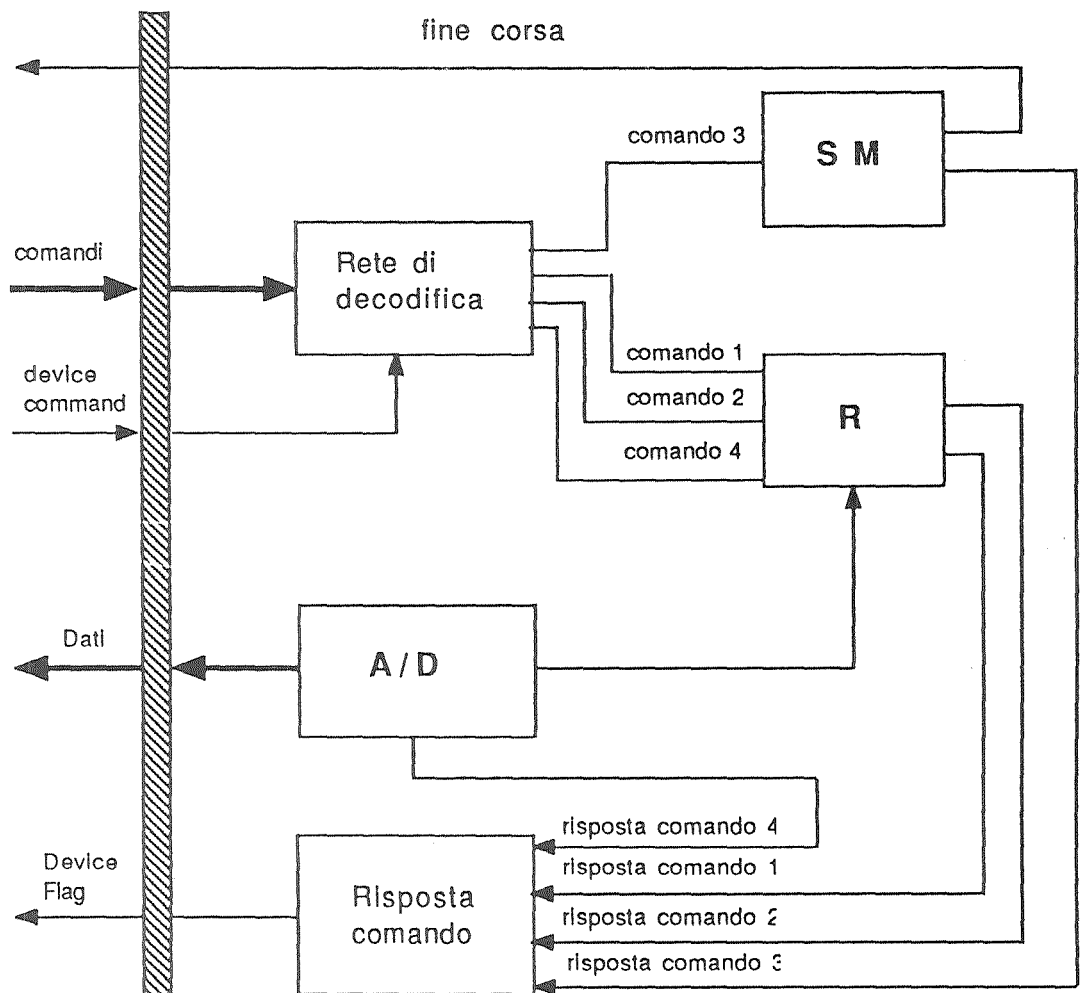


Fig. 11 - Modulo di controllo

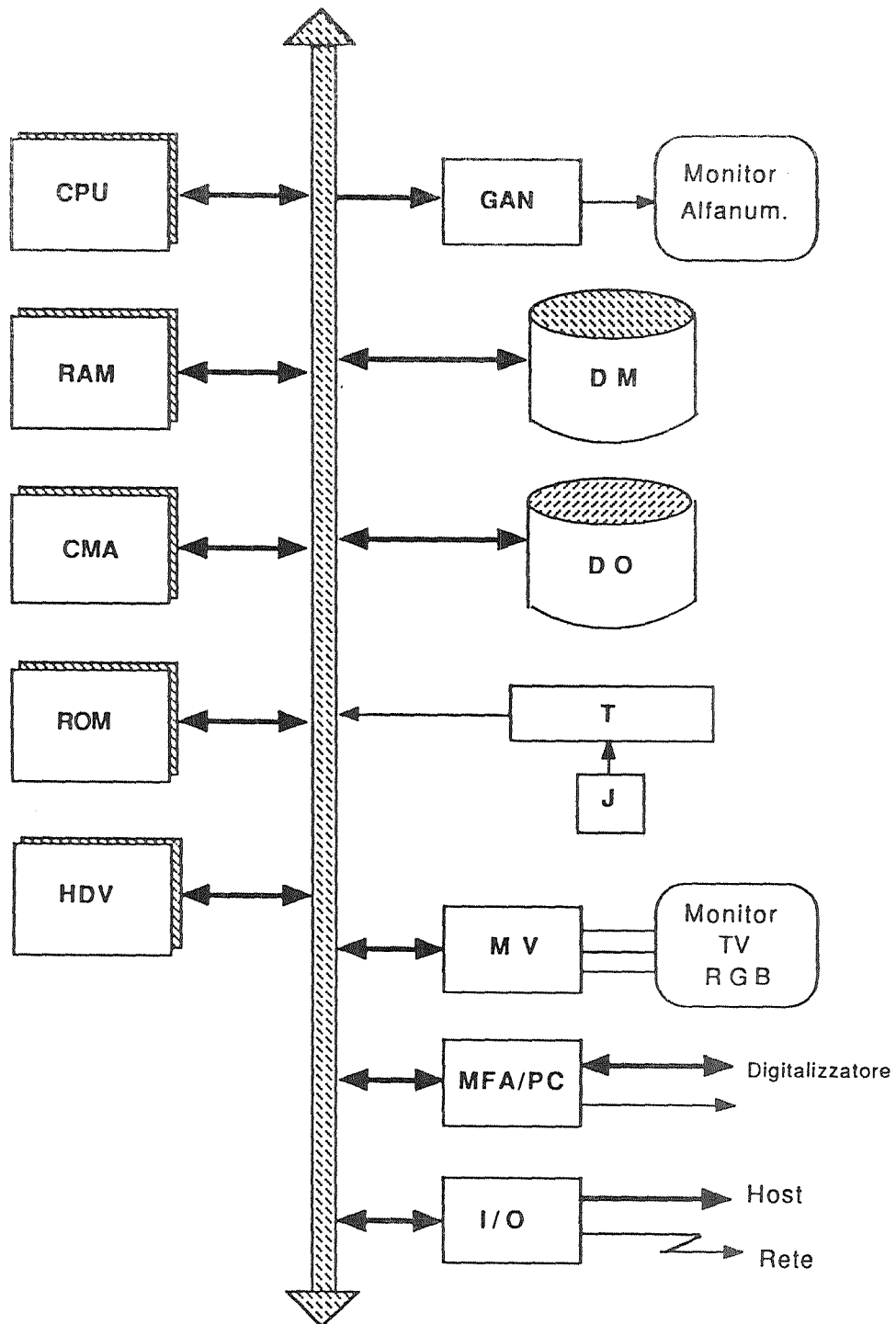


Fig. 12 - Architettura dell'elaboratore locale

Il modulo di controllo può essere fornito di un convertitore A/D a 8 o a 10 bit; nel primo caso il convertitore è in grado di coprire una dinamica di circa 2 decadi che può essere considerata sufficiente in molte applicazioni; se si vuole coprire una dinamica di 3 decadi è necessario acquisire due volte la stessa immagine con due diversi valori di diaframma. Il risultato finale viene costruito nell'elaboratore locale mediante la somma delle matrici ricavate nelle acquisizioni parziali, moltiplicate per opportuni coefficienti. Nel secondo caso per coprire 3 decadi è invece sufficiente eseguire una sola acquisizione.

4.6 Elaboratore locale

La figura 12 mostra l'architettura dell'elaboratore locale. L'elaboratore comprende un *bus* al quale possono essere collegati i seguenti moduli:

CPU	microprocessore a 16 bit con clock a 16 MHz
RAM	memoria centrale di 640 Kbyte per dati e programmi
CMA	modulo coprocessore matematico a 16 MHz per accelerare le operazioni aritmetiche in virgola mobile
ROM	memoria firmware di 128 Kbyte per i programmi di gestione del digitalizzatore
HDW	circuiti cablati per l'esecuzione di elaborazioni predefinite
GAN	memoria video per la rappresentazione sul monitor alfanumerico del colloquio uomo-macchina e dei grafici prodotti con l'elaborazione
DM	disco magnetico da 40 Mbyte per la memorizzazione del sistema operativo, programmi e dati temporanei
DO	disco ottico da 400 Mbyte per l'archiviazione permanente di immagini
T	tastiera alfanumerica e funzionale con dispositivo di interazione per colloquio operatore-sistema

MV memoria video di 1 Mbyte per la rappresentazione su monitor TV RGB di immagini definite da un massimo di 1024^2 pixel

MFA-PC interfaccia per il collegamento al digitalizzatore

I/O interfaccia per il collegamento ad un eventuale calcolatore ospite oppure ad una rete di comunicazione locale o geografica.

La configurazione dell'elaboratore può essere variata a seconda dell'applicazione: in questa maniera si possono ottenere le diverse stazioni orientate indicate schematicamente in fig.2, che differiscono sia per la componente hardware che per la componente software. Ad esempio, riferendoci alla classificazione descritta nel cap.1, si può determinare una configurazione minima in grado di svolgere operazioni di acquisizione e preelaborazione di immagini.

In questo caso l'elaboratore locale fornisce al modulo di controllo i comandi di acquisizione (comandi di spostamento e di lettura) attraverso l'interfaccia MFA/PC ed invia al calcolatore ospite i dati preelaborati attraverso l'interfaccia I/O.

I dati di acquisizione provenienti dal convertitore A/D del modulo di controllo possono essere espressi su 8 o su 10 bit e richiedono dunque rispettivamente 1 o 2 byte per dato. Nel caso di dati espressi su un byte e per righe di acquisizione di 2048 pixel, la memoria necessaria per la riduzione del rumore, mediante matrici di convoluzione di 5×5 , è di circa 10 kbyte.

La correzione fotometrica dei dati di acquisizione viene fatta utilizzando una tabella di conversione nella quale sono inseriti i risultati dei possibili rapporti fra i dati di ingresso ed un vettore di dati di riferimento

Impiegando un convertitore a 8 bit i dati di ingresso possono avere 256 possibili valori mentre i dati di riferimento hanno una dinamica più ridotta che dipende principalmente dalle caratteristiche di uniformità della sorgente e del sensore; i componenti utilizzati nel digitalizzatore sono tali che le

variazioni dei valori di riferimento sono contenuti entro il 10% cosicchè gli elementi del vettore di riferimento possono assumere circa 50 possibili valori. La tavola di conversione è quindi definita da 256×50 elementi ciascuno dei quali è definito da 8 bit; in pratica la memoria richiesta è di 16 Kbyte e la tavola di conversione può essere inserita permanentemente nella memoria ROM.

Impiegando un convertitore a 10 bit i dati di ingresso possono avere 1024 valori diversi mentre gli elementi del vettore di riferimento, mantenendo le caratteristiche simili a quelle citate in precedenza, possono assumere circa 200 valori possibili. La tavola di conversione è quindi costituita da 1024×200 elementi ciascuno dei quali è definito da almeno 10 bit: in pratica la tabella è di circa 400 Kbyte e deve essere inserita nella memoria RAM.

Le operazioni appartenenti alle classi di elaborazione, restituzione e archiviazione fanno uso dei moduli CMA e MV e sono eseguite richiamando dei moduli software residenti nel disco magnetico DO. L'esecuzione di ciascun modulo richiede normalmente una fase di colloquio eseguito utilizzando la tastiera, i dispositivi di interazione ed il monitor alfanumerico; le matrici dei dati elaborati possono essere inserite nella memoria video ed essere rappresentate sul monitor pittorico, oppure possono essere archiviate in forma permanente sull'unità a disco ottico.

L'unità a disco magnetico di 40 Mbyte è in grado di immagazzinare, oltre alle componenti software dello MFA/DIGIRAD (circa 15 Mbyte per il sistema operativo e i moduli elaborativi), circa 100 matrici di 250 Kbyte, ciascuna delle quali definisce un'immagine di 512×512 pixel su 256 livelli.

5. DESCRIZIONE DELLA COMPONENTE SOFTWARE

La componente software della stazione MFA/DIGIRAD denominata M-PIRAD, è strutturata in due ambienti operativi distinti ma comunicanti: il gestore di programmi G-DR e il pacchetto applicativo P-DR.

Il gestore G-DR costituisce l'interfaccia ad alto livello tra l'utente e la componente software esecutiva della stazione di lavoro, mentre la banca di moduli elaborativi P-DR costituisce l'ambiente operativo nel quale sono eseguiti i processi per il trattamento delle immagini e dei dati.

5.1 Il gestore di programmi G-DR

Il gestore di programmi G-DR esegue la funzione di collegare l'utente sia con il sistema operativo dell'elaboratore locale sia con i moduli e le procedure del pacchetto P-DR.

Il collegamento con il sistema elaborativo è automatico e tale che l'utente può richiedere operazioni tipiche del sistema in modo del tutto trasparente. Verso il pacchetto P-DR, l'utente, mediante interfacciamento interattivo, accede ad una gerarchia di codici di selezione suddivisi in aree semantiche distinte.

La modalità di accesso prevede un primo livello d'interazione, costituita da una tabella radice, mediante il quale è possibile accedere alla gerarchia delle tabelle contenenti i codici di selezione. Questo primo livello contiene tutte e sole le classi di operazioni primarie, mentre ulteriori specializzazioni delle richieste sono definite sugli altri livelli della gerarchia.

L'operazione effettiva richiesta dall'utente è attivata da G-DR all'ultimo livello del grafo d'ispezione delle operazioni selezionabili; dopo l'attivazione del modulo o della procedura opportuni, G-DR diventa interfaccia verso il programma in esecuzione, il quale, a sua volta, interagisce in modo diretto con l'utente. Al termine della fase esecutiva il controllo è restituito automaticamente a G-DR, che riprende la funzione di

interfaccia verso l'utente, ripartendo dallo stesso livello di profondità nella struttura gerarchica delle tabelle di selezione.

5.2 Il pacchetto applicativo P-DR

P-DR è un package software per la gestione e il trattamento automatico d'immagini, organizzato in insiemi omogenei di programmi costituiti da moduli elaborativi e da procedure applicative. Mediante la classificazione dei diversi tipi di funzioni da svolgere, gli insiemi primari che si ottengono sono:

- a) insieme dei moduli di elaborazione
- b) insieme delle procedure
- c) insieme dei moduli speciali.

L'insieme dei moduli di elaborazione è costituito da programmi che svolgono le funzioni di acquisizione, pre-elaborazione, analisi, restituzione e gestione della memoria video.

L'insieme delle procedure, ciascuna delle quali è realizzata da una opportuna concatenazione di moduli elaborativi, consente di realizzare processi operativi specializzati e ben definiti.

L'insieme dei moduli speciali, composto da programmi di utilità e da comandi di sistema, è utilizzato per svolgere funzioni di servizio. P-DR consente anche la gestione di *archivi di riferimento*, nei quali sono contenute immagini e dati di sintesi: tali informazioni sono costituite principalmente da immagini primarie o derivate, ritenute di particolare interesse e considerate come stereotipi di categorie di oggetti significativi.

Ognuno dei tre insiemi primari che compongono il pacchetto P-DR è a sua volta suddiviso in gruppi di programmi, ciascuno dei quali è caratterizzato dal tipo di operazione che esegue, dal formato dei dati da elaborare e dal particolare tipo di periferica utilizzata.

Le funzioni più importanti che sono svolte dai vari moduli e procedure internamente agli insiemi primari possono essere riassunti in:

a) Insieme dei moduli di elaborazione

a.1) Acquisizione:

- dati vettoriali da dispositivi di interazione e da memoria video
- dati immagine da memoria video
- dati immagine dal digitalizzatore a scansione
- dati vettoriali e/o immagini via rete.

a.2) Preelaborazione:

- trasformazioni e correzioni geometriche
- trasformazioni e correzioni fotometriche
- filtraggio numerico nel dominio delle frequenze spaziali
- convoluzione con finestre predefinite o parametriche.

a.3) Analisi:

- operazioni statistiche
- operazioni logiche
- operazioni aritmetiche
- segmentazioni
- operazioni nel dominio delle trasformate
- analisi della tessitura
- cluster analysis
- pattern recognition
- morfometria
- classificazione
- calcoli geometrici
- interpolazioni
- analisi di Fourier.

a.4) Restituzione:

- dati alfanumerici
- grafica mono-bi-tridimensionale su monitor o plotter

- immagini sul monitor

a.5) Gestione della memoria video:

- generazione di modelli geometrici
- generazione di immagini test
- gestione del colore
- gestione "look-up table"
- gestione joy-stick e mouse
- gestione delle funzioni interne

b) Insieme delle procedure elaborative

- b.1) Determinazione dell'età scheletrica su radiografie della mano.
- b.2) Determinazione dello stadio evolutivo dell'artrite reumatoide su radiografie della mano.
- b.3) Valutazione dell'osteoporosi mediante analisi della struttura trabecolare del radio.
- b.4) Ricostruzione 3D della superficie isodose per la determinazione per il controllo di qualità in radiografia.
- b.5) Analisi della cinesio ventricolare su immagini ricavate con ecocardiografia 2D o cineangiografica.
- b.6) Angiometria su immagini radiografiche
- b.7) Angiografia sottrattiva su immagini radiologiche del cranio.
- b.8) Analisi densitometrica su immagini radiologiche.
- b.9) Estrazione di regioni e determinazione di parametri caratteristici.
- b.10) Segmentazione ed estrazione automatica di contorni da immagini radiologiche.

c) Insieme dei moduli speciali

c.1) Utilità:

- gestione dati su disco
- gestione della configurazione ingresso-uscita della memoria video
- trasferimento dati tra le unità di memoria di massa
- gestione della stampante
- conversioni interne del formato dei dati.

c.2) Comandi speciali del sistema:

- esecuzione guidata di un nucleo di comandi DOS.

6. DISEGNI COSTRUTTIVI DEL DIGITALIZZATORE

Si riportano alcuni disegni costruttivi particolareggiati di due versioni del digitalizzatore.

Le figure A1÷A11 si riferiscono ad una versione con sorgente di luce a tubo fluorescente e modulo di scansione elettro-meccanica con avanzamento determinato dalla trazione di un nastro metallico; il dispositivo è in grado di acquisire formati fino a 350x350 mm.

La figura A1 mostra una vista laterale del digitalizzatore; il sistema di riferimento x,y,z è analogo a quello di fig. 9.

Si riconoscono:

- il carrello CR
- un supporto per la lampada SLA, mostrato più espanso anche nei particolari A1.1 e A1.2
- il convertitore di movimento CM
- il supporto dello specchio SP
- l'obiettivo O, con relativo supporto
- il sensore S, riportato in maniera schematica.

Il convertitore CM, azionato dall'albero AMS del motore di scansione elettro-meccanica muove il nastro metallico CIN; il carrello CR, sul quale viene inserita la lastra da acquisire, è fissato al CIN e si muove nella direzione y passando sotto la lampada. La luce emessa dalla lampada attraversa la lastra e viene riflessa a 90° dallo specchio SP; i raggi luminosi incidenti sull'obiettivo O sono focalizzati sul sensore S, allineato con l'asse x.

I componenti SP, O e S sono montati su un piano di supporto parallelo al carrello CR, e possono scorrere nella direzione y su apposite guide di precisione per essere collocati nelle posizioni di taratura o di regolazione dell'apparecchiatura.

Nella figura A1 si vedono alcune delle regolazioni manuali del dispositivo per la centratura dello specchio SP (indicato con m_2 in fig.10).

La figura A2 mostra una vista lungo l'asse z del digitalizzatore.

Si riconoscono:

- il carrello CR
- il convertitore di movimento CM
- l'obiettivo O
- il sensore S.

Il carrello CR è costituito da una lastra di vetro ottico sulla quale sono montati una pinza fissa PIN1, una battuta PIN2 e quattro supporti SV. La lastra radiologica viene trattenuta sul piano di vetro dalla pinza PIN1; la battuta PIN2 è regolabile lungo la direzione x e consente di posizionare sul carrello una lastra fotografica di dimensioni inferiori alle dimensioni massime di CR.

Ciascun supporto SV (v. particolare A 2.1) alloggia una puleggia, con profilo di precisione a V dotata di una coppia di cuscinetti a sfere; i supporti SV sono collegati alla cinghia CIN e, in base alla rotazione della puleggia del convertitore di movimento CM, scorrono sulla coppia di guide di precisione G1 e G2.

La cinghia CIN è trascinata dalla puleggia PT e rinviata dalla analoga puleggia PR. PR è mostrata più in dettaglio nel particolare A 2.2; i particolari A 2.3 e A 2.4 si riferiscono rispettivamente al meccanismo di centratura PIN2 e al dispositivo per il bloccaggio della pellicola PIN1.

La figura A3 mostra una vista posteriore del digitalizzatore lungo la direzione y.

Nella figura sono indicati:

- la sorgente di luce LA allineata lungo l'asse x, le guide G1 e G2 sulle quali scorrono i supporti SV del carrello
- la puleggia di trascinamento PT.

La puleggia PT è azionata dalla cinghia dentata CID collegata all'albero del motore MS.

Maggiori dettagli sono estraibili dalla fig. A4. L'albero del motore MS aziona attraverso la cinghia dentata CID la puleggia

di trascinamento del carrello porta lastra, e di conseguenza determina la scansione meccanica del radiogramma lungo l'asse y. L'albero motore aziona anche, mediante un giunto elastico GE, l'encoder rotativo E; in base al movimento del motore, E produce un segnale da cui si ricava il valore della coordinata attuale di scansione lungo l'asse y.

Le figure A5 e A6 mostrano due viste del supporto meccanico del sensore, che comprende le regolazioni di allineamento m1 indicate schematicamente in figura 10.

La figura A5 mostra la vista laterale del supporto. Il sensore S è montato sulla scheda elettronica SE, fissata mediante quattro viti e distanziali VD alla piastra meccanica di supporto PS1.

PS1 è fulcrata mediante un distanziatore sulla contropiastra PS2; PS1 può ruotare intorno all'asse z, consentendo così una delle regolazioni di allineamento del sensore.

La piastra PS2 può scorrere sul banco di supporto verticale BSV su una guida di precisione a coda di rondine, consentendo così un ulteriore allineamento del sensore; la posizione è regolata mediante la vite di traslazione VTV.

Il banco verticale BSV è fissato al banco orizzontale BSO che può scorrere in una guida sul blocco di base BBS; la traslazione di BSO consente di allineare il sensore lungo l'asse x del sistema di riferimento.

La figura A6 mostra una vista superiore del supporto. Oltre ai componenti già indicati in figura A5, si riconoscono due coppie di viti per il bloccaggio del supporto al termine degli allineamenti: la coppia VBZ, per il bloccaggio della rotazione della piastra PS1 intorno al fulcro; la coppia VBX, per il bloccaggio del banco orizzontale BSO sul blocco di base PBS.

PBS può scorrere lungo la direzione z sul basamento del digitalizzatore.

La figura A7 riporta fuori scala il dispositivo per la regolazione dell'ingrandimento ottico del digitalizzatore (confronta m3 in fig.10).

I supporti del sensore e dell'obiettivo sono montati su due carrelli che possono scorrere in una guida sul basamento del digitalizzatore lungo la direzione z; le posizioni del sensore e dello obiettivo e conseguentemente le distanze tra ciascuno di essi e la lastra da digitalizzare sono determinate dalle camme CAM1 e CAM2.

Il motore MIO, comandato dal modulo di controllo, attraverso la cinghia indicata in tratteggio fa ruotare CAM1 e CAM2. Il profilo di ciascuna camma è determinato da tre raggi diversi, R1, R2 e R3 per la CAM1, e R4, R5 e R6 per CAM2.

In base alla rotazione del motore il carrello del sensore viene tenuto dalle molle di spinta a distanza R1, R2 o R3 dal punto Z1 corrispondente all'asse di CAM1, mentre il carrello dell'obiettivo viene messo a distanza R4, R5 e R6 del punto Z2.

I valori delle coppie omologhe R1, R4; R2, R5; R3, R6 sono scelti in modo da ottenere diversi valori di ingrandimento ottico e quindi di risoluzione spaziale del digitalizzatore.

La figura A8 riporta due viste del supporto per l'obiettivo; il supporto può scorrere nella direzione z in una guida sul basamento del digitalizzatore.

La figura A9 mostra il dispositivo per la regolazione del diaframma dell'obiettivo, indicato con m4 in figura 10.

Sul rotismo del diaframma dell'obiettivo è montata una camma zigrinata CD, azionato dall'albero del motore MDO mediante una puleggia a frizione. Sulla camma CD sono scavate delle cunette in corrispondenza delle posizioni prefissate del diaframma dell'obiettivo (vedi parte destra del disegno); una serie di tastatori a leva INT è posta a contatto della camma CD: la rotazione di CD fa chiudere il contatto elettrico di un tastatore INT quando la leva di esso è in corrispondenza di una cunetta.

Il modulo di controllo aziona il movimento del motore MDO fino al raggiungimento del diaframma individuato in base alla decodifica delle uscite dei tastatori INT.

La figura A10 mostra una vista della parete posteriore del digitalizzatore con l'alloggiamento del cassetto estraibile RACK nel quale sono montati i circuiti del modulo di controllo (v. figura 11).

La figura A11 mostra due viste del bromografo per l'osservazione della lastra radiografica. Il bromografo è costituito da una scatola con pareti interne diffondenti, all'interno della quale sono montate tre lampade fluorescenti L1, L2, L3; la parete superiore è costituita da una lastra di materiale traslucido.

Quando il carrello porta lastra CR è portato all'inizio corsa, viene a trovarsi sopra il piano luminoso del bromografo (v. parte superiore di fig. A11); in questa condizione si può alloggiare la lastra radiologica e aggiustarne la posizione mediante le pinze PIN1 e PIN2.

Il bromografo è dotato di due scale graduate ortogonali e corrispondenti agli assi x e y del sistema di riferimento; si può dunque individuare in prima approssimazione la zona da acquisire sul radiogramma all'interno del campo totale di rilevamento.

La figura A12 mostra alcuni dettagli di una versione di digitalizzatore in cui l'avanzamento del carrello è determinato da una vite di precisione a circolazione di sfere.

Il principio di funzionamento è identico a quello descritto per la versione precedente ed è ricavabile dalla vista laterale.

Il sensore S riceve la luce emessa dalla lampada LA, trasmessa dalla lastra alloggiata sul carrello CR, deviata a 90° dallo specchio SP e focalizzata dall'obiettivo O.

Il moto del carrello nella direzione y è determinato dal motore passo-passo MS che mediante una cinghia dentata aziona una vite a circolazione di sfere VCS; la rotazione della vite determina lo spostamento lineare della chiocciola CHI, alla

quale è collegato il carrello CR che scorre su una coppia di guide.

La coordinata y è misurata mediante l'encoder E collegato all'albero del motore MS.

La vista posteriore nella parte centrale della figura A12, mostra l'alloggiamento di un monitor pittorico MP collegato all'uscita della memoria video dell'elaboratore locale della stazione di acquisizione; il monitor è utilizzato per un controllo visivo dei dati di acquisizione.

La parte destra della figura A12 riporta uno spaccato nel quale è riportato il bromografo per l'osservazione della lastra radiografica da acquisire; il bromografo contiene quattro lampade fluorescenti che illuminano la lastra attraverso un piano traslucido; sul piano è tracciato un reticolo di riferimento che consente di determinare le coordinate della zona da acquisire.

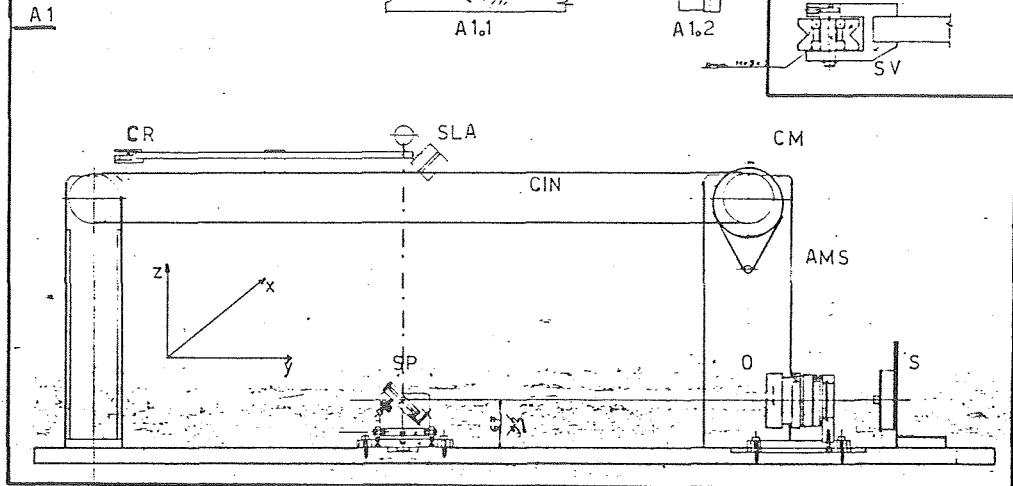
Nelle foto F1 e F2 sono mostrate le due versioni della stazione MFA/DIGIRAD.

Elenco delle sigle sui disegni

E	encoder
O	obiettivo
S	sensore
OD	camma diaframma obiettivo
CM	convertitore moto rotatorio - lineare
CR	carrello portalastra
GE	giunto elastico
LA	lampada
MP	video pittorico
MS	motore di scansione
PR	puleggia di rinvio
PT	puleggia di trascinamento
SE	scheda elettronica del sensore
SP	specchio
SV	supporto carrello
VD	distanziale
G1/2	guide di scorrimento
L1/2/3	lampada bromografo
AMS	albero motore di scansione
BBS	blocco di base del sensore
BSO	supporto orizzontale sensore
BSV	supporto verticale sensore
CHI	chiocciola
CID	cinghia dentata
CIN	cinghia metallica di trascinamento
INT	tastatori a leva
MDO	motore diaframma obiettivo
MIO	motore regolazione ingrandimento
SLA	supporto lampada
VBX	viti di bloccaggio
VBZ	viti di bloccaggio
VCS	vite a circolazione di sfere
VTV	vite di traslazione

PS1	piastra supporto sensore
PS2	contropiastra di supporto
CAM1/2	camme per regolazione ingrandimento
PIN1	pinza bloccalastra
PIN2	battuta alloggiamento lastra
RACK	contenitore modulo di controllo

FIG. A1



PART. A2.1

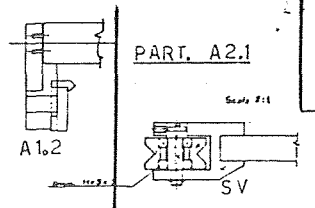
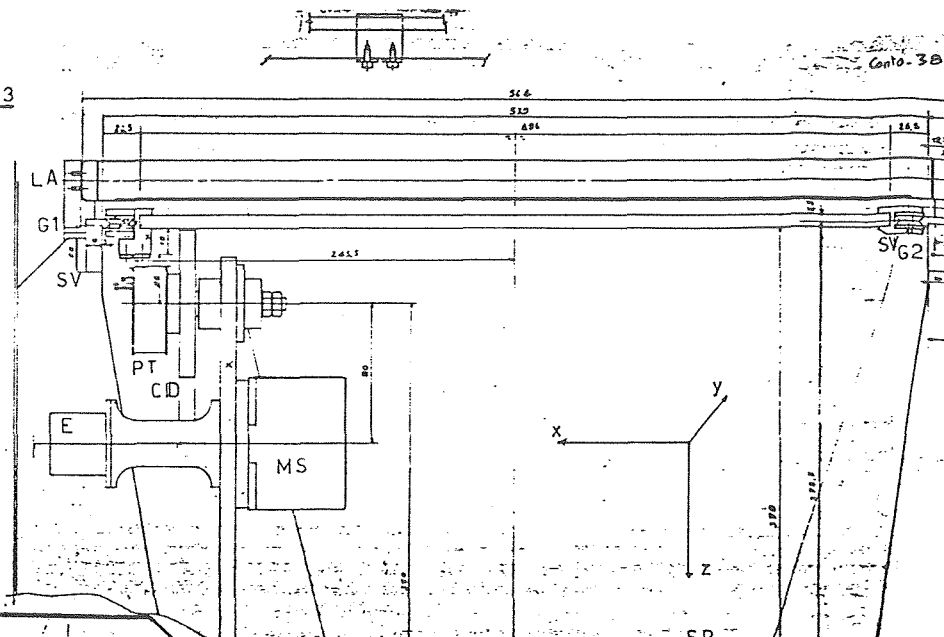
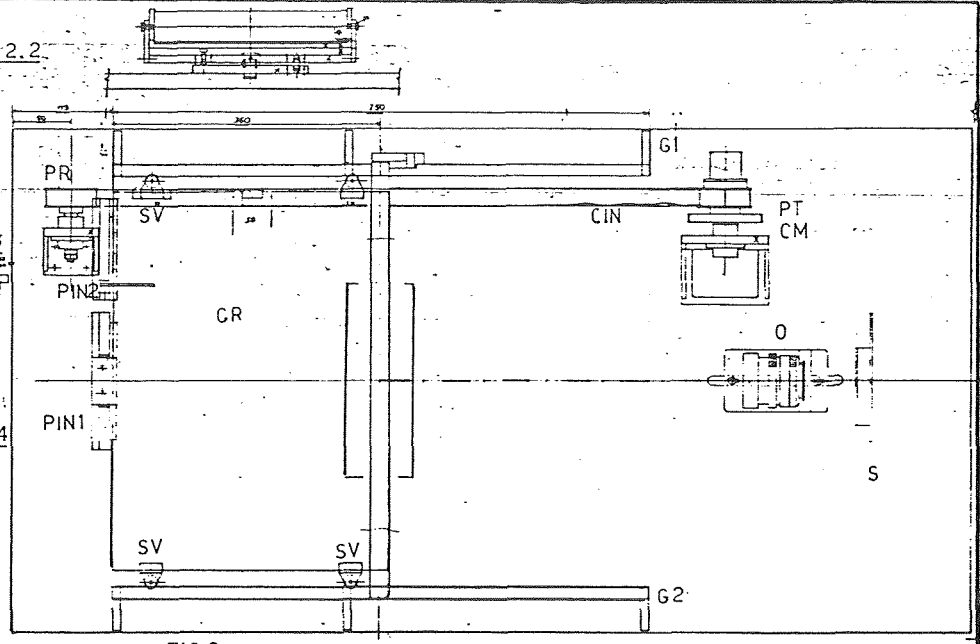


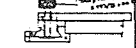
FIG. A3



PART. A2.2



PART. A2.3



PART. A2.4



FIG. 2

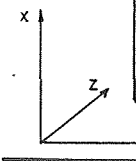
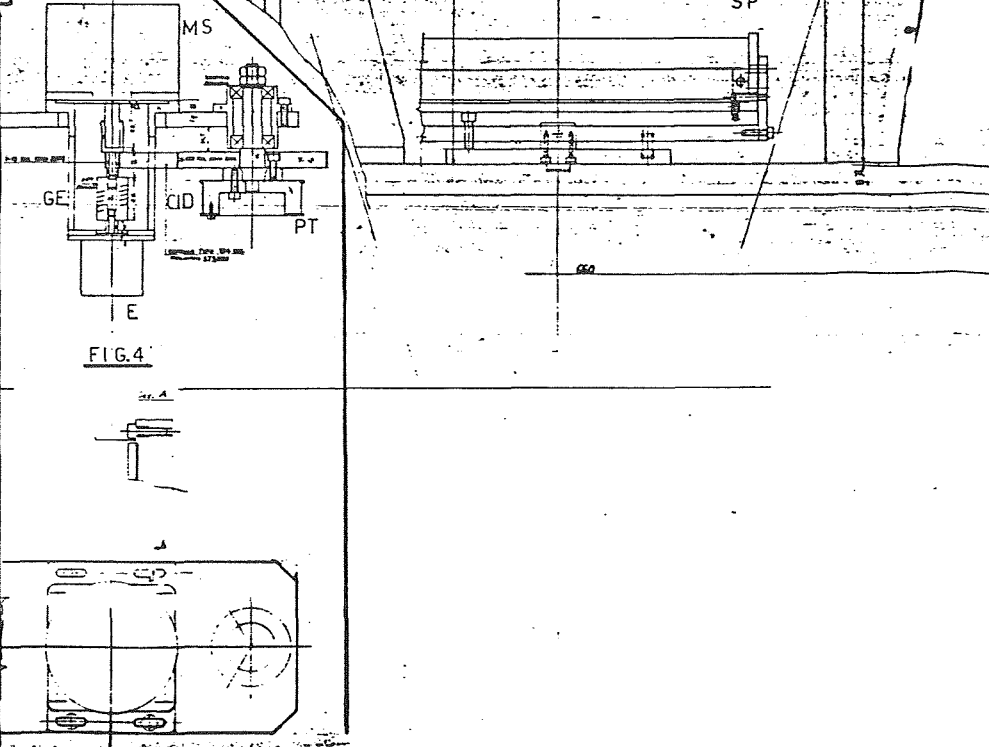


FIG. 4



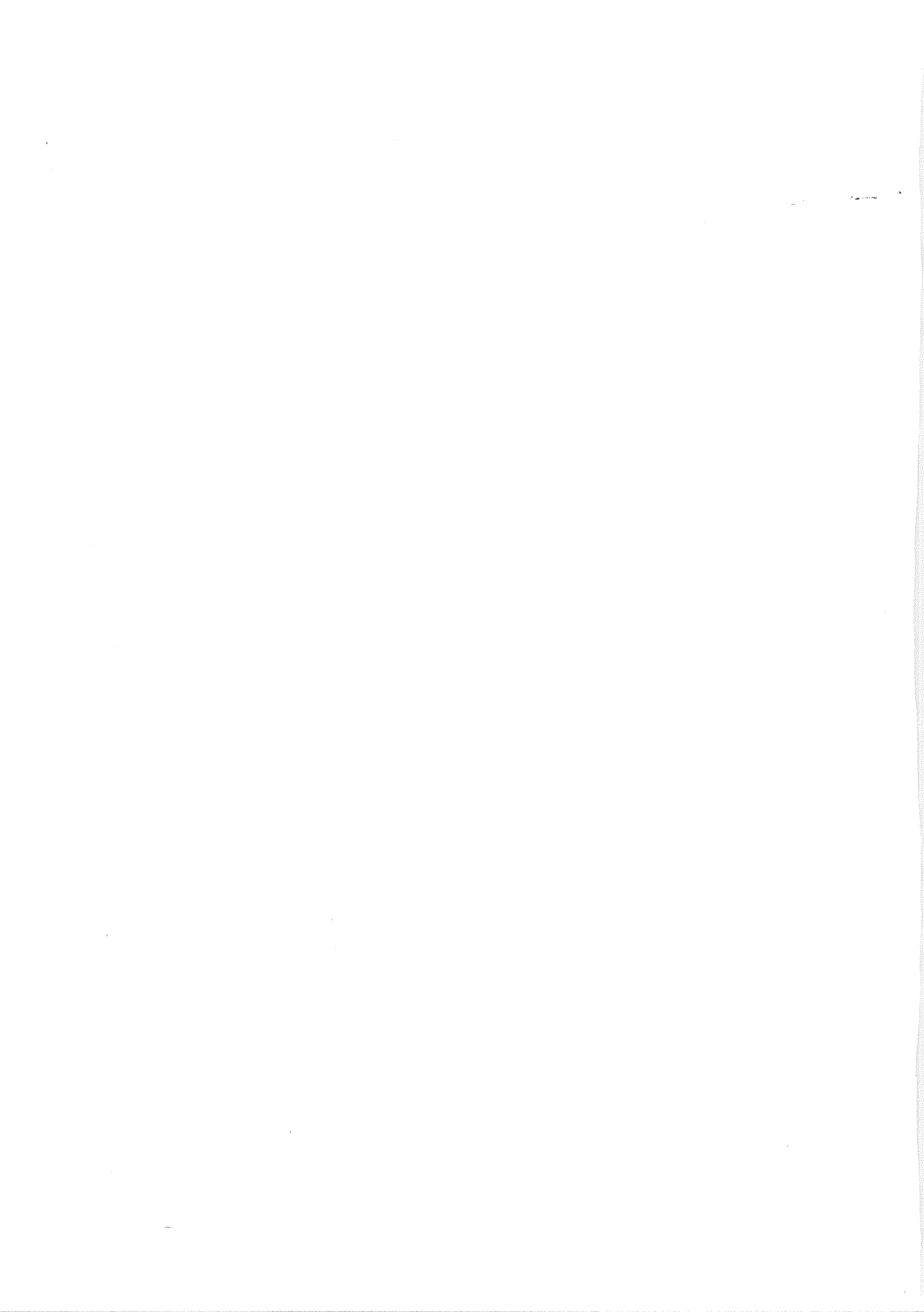
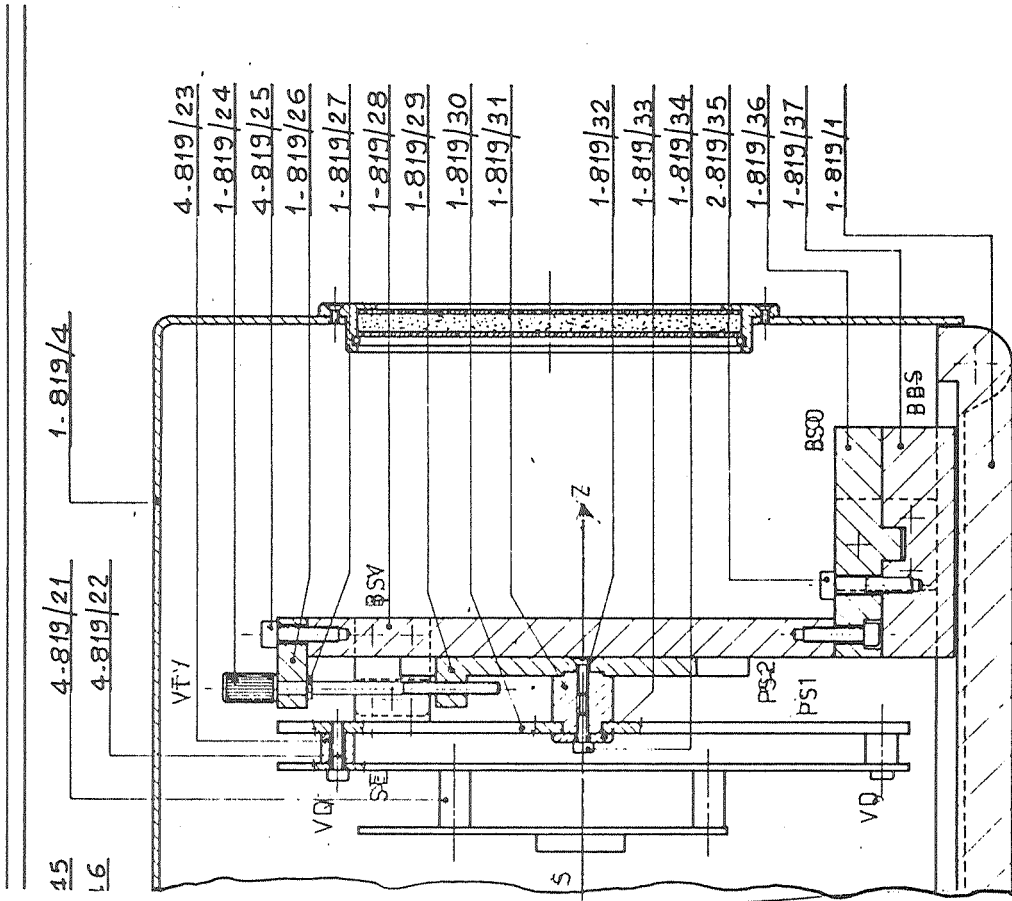


FIG. 15



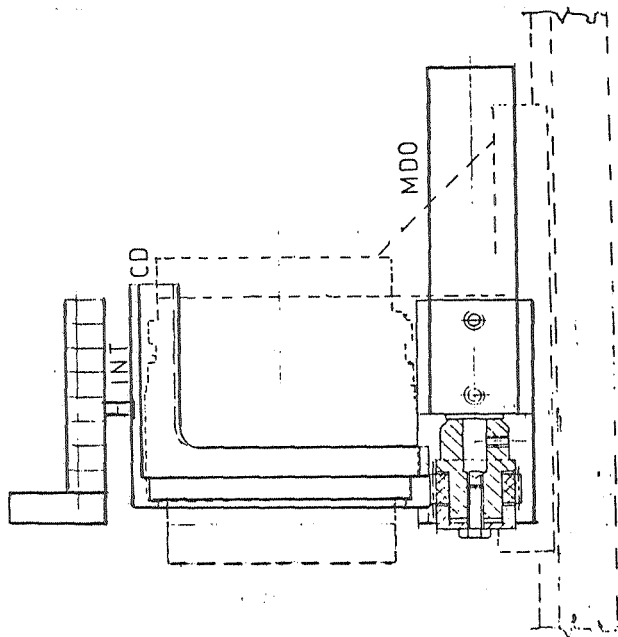
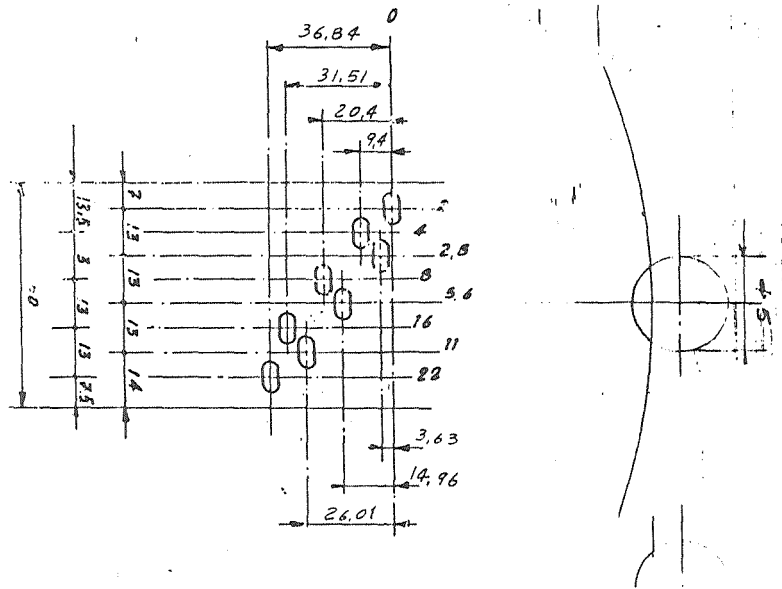


FIG. A9



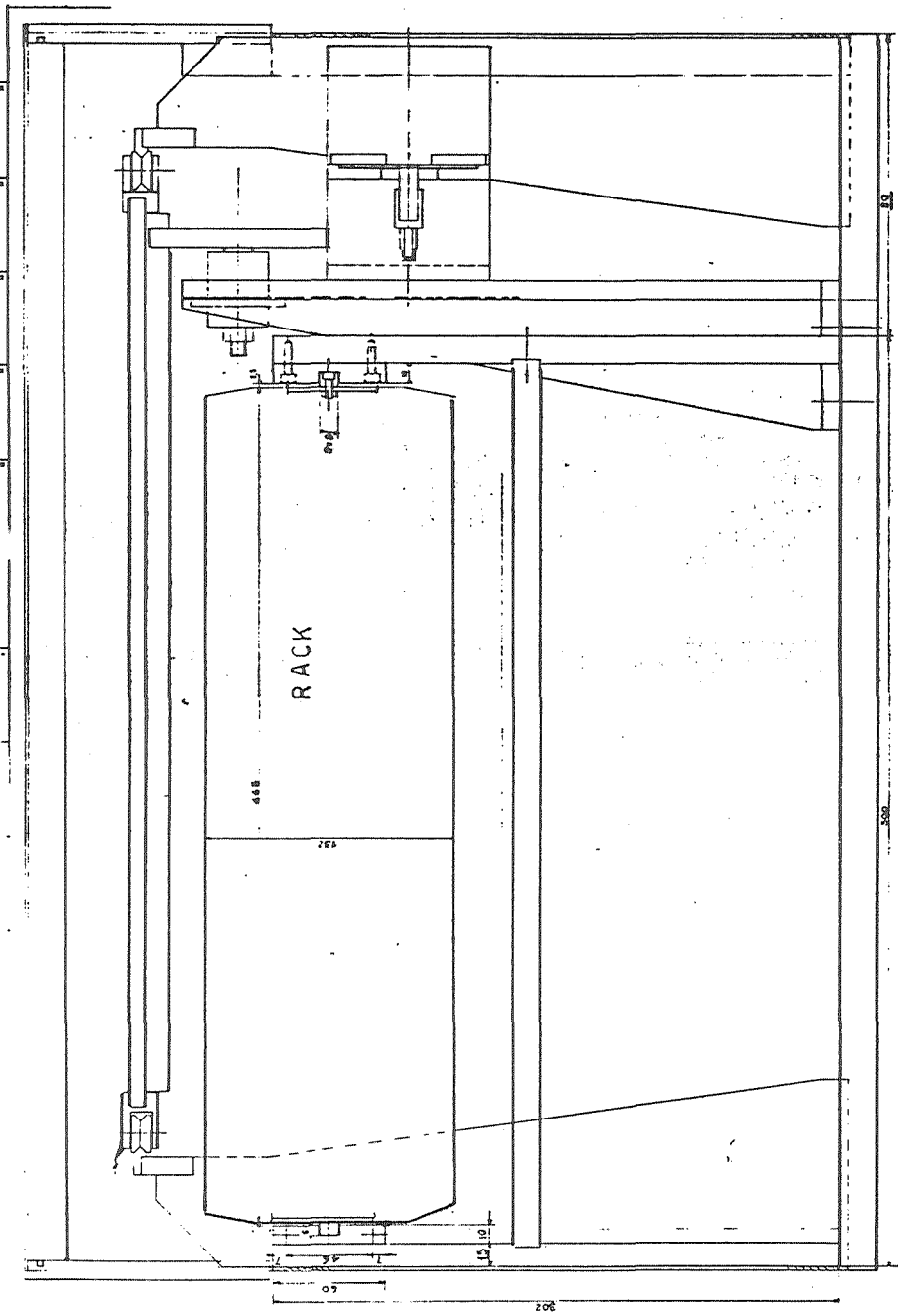


FIG. A 10



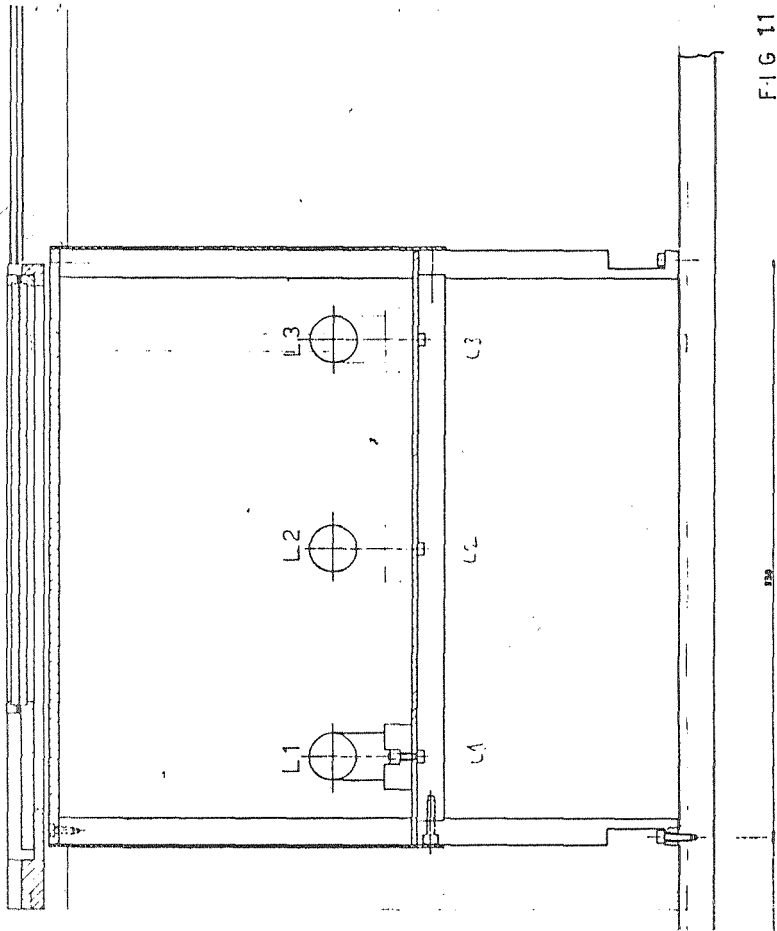
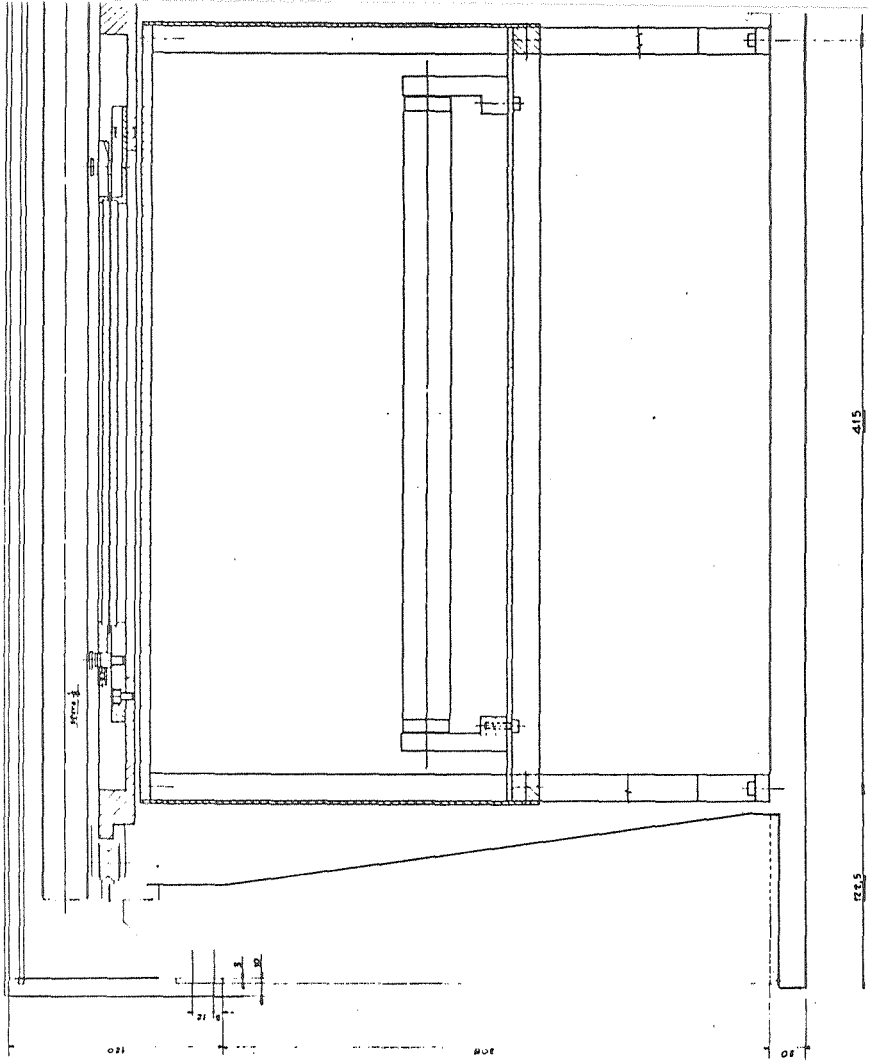
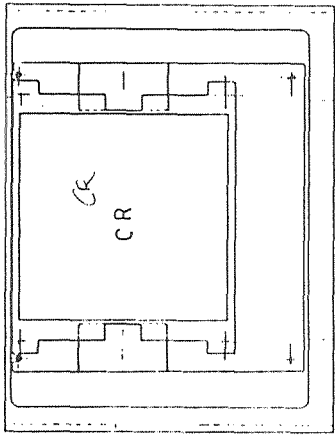


FIG 11

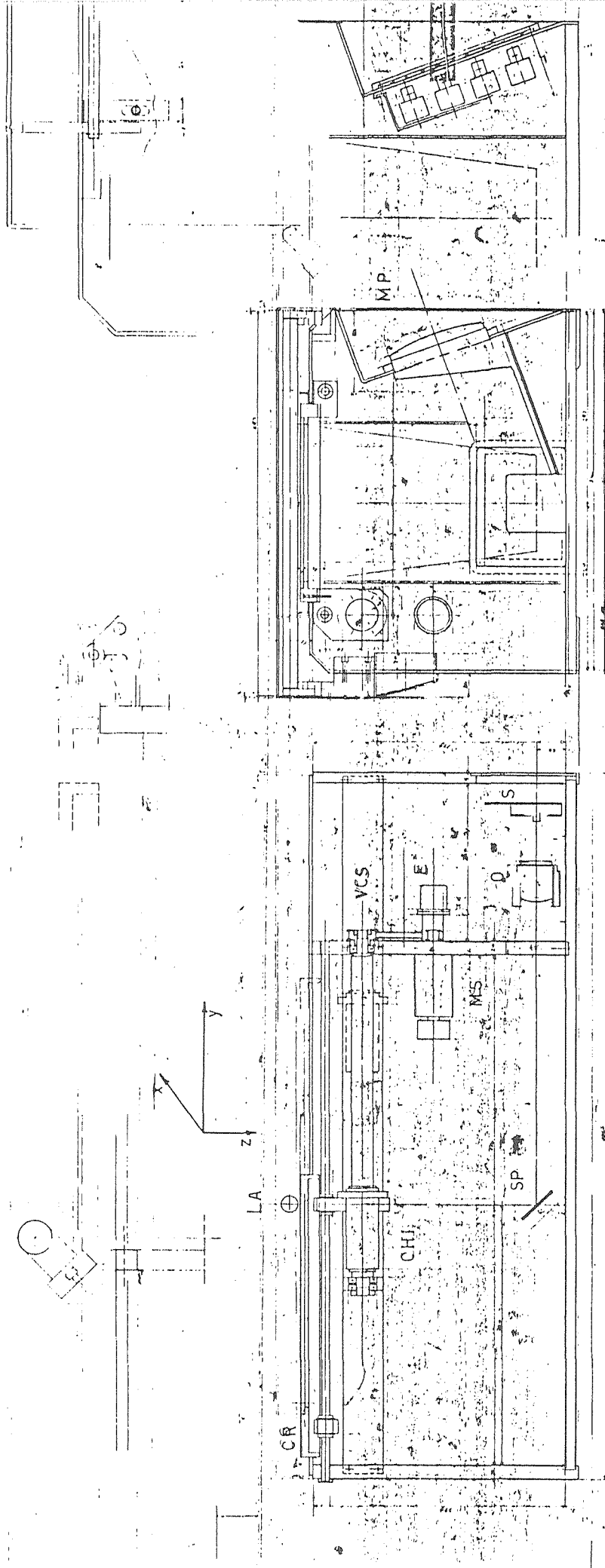
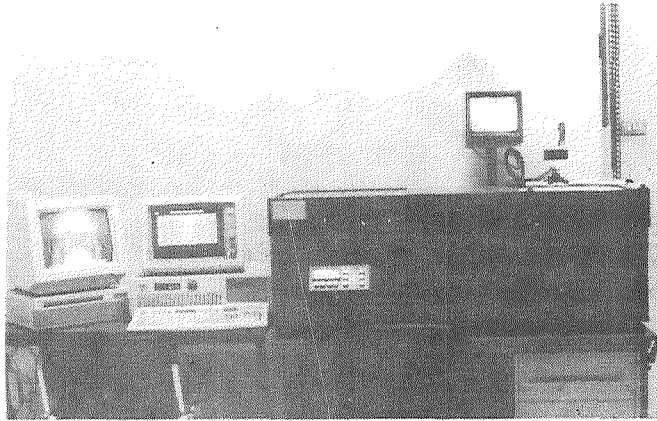


FIG. A 12



Fot. 1 - Stazione di lavoro MFA/DIGIRAD: digitalizzatore con sistema di trascinamento a nastro.



Fot. 2 - Stazione di lavoro MFA/DIGIRAD: digitalizzatore con sistema di trascinamento con vite a circolazione di sfere.

