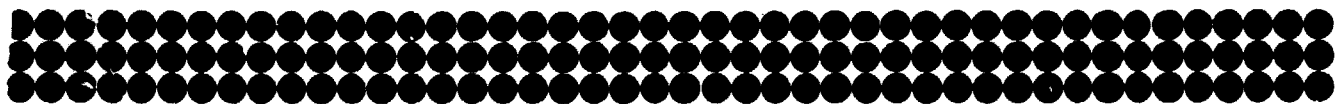


Comitato Nazionale Energia Nucleare

IT7600177

**Sistema di acquisizione ed elaborazione dati
realizzato sul convertitore
magnetoplasmadinamico di Frascati**

M. DI BARTOLOMEO, P. GAY, L. PANACCIONE, B. PAPALIA



CNEN - RT/ING(75)4

Comitato Nazionale Energia Nucleare

**Sistema di acquisizione ed elaborazione dati
realizzato sul convertitore
magnetoplasmodinamico di Frascati**

M. DI BARTOLOMEO, P. GAY, L. PANACCIONE, B. PAPALIA

RT/ING(75)4

Testo pervenuto nel marzo 1975

INDICE

	pag.
SOMMARIO	1
1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO E DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE	
1.1. Descrizione dell'impianto e modalità di funzionamento	2
1.2. Grandezze caratteristiche e modalità di acquisizione	3
1.3. Scelta del sistema automatico di acquisizione	5
1.4. Specifiche del sistema	7
1.5. Descrizione del sistema scelto	9
2. PROGRAMMA DI ACQUISIZIONE DATI	
2.1. Generalità sulle funzioni svolte dal programma	12
2.2. Abilitazione dei moduli di acquisi- zione dipendentemente dalle condizio- ni dell'esperimento	13
2.3. Attivazione e controllo temporale dei moduli di acquisizione abilitati	15
2.4. Moduli di acquisizione	16
2.4.1. Modulo di acquisizione lenta: ACQL	17
2.4.2. Modulo di acquisizione veloce: ACQV	20
2.5. Immagazzinamento su memoria di massa dei dati acquisiti	21
2.6. Trasferimento dei dati dalla memoria di massa su nastro di carta perforato	23
3. PROGRAMMA DI ELABORAZIONE	
3.1. Generalità	27
3.2. Il programma MARIETTA	28
3.3. Intervalli a "stato costante"	29
3.4. Intervalli a campo magnetico costante	30
3.5. Grandezze elettriche	30
3.6. Tabulazione	31
REFERENZA	32

1. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO E DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE

1.1 Descrizione dell'impianto e modalità di funzionamento

La conversione MHD a ciclo chiuso prevede l'uso di un gas inerte, additivato con un metallo alcalino per aumentarne la conducibilità, a 2000 °K come fluido operatore per la produzione di energia elettrica. Tale miscela, opportunamente accelerata, fluisce nel convertitore MHD dove, interagendo con un campo magnetico trasversale (qualche Tesla), produce una tensione indotta. Tale tensione, data la elevata conducibilità del plasma, genera una corrente utile che attraversando degli elettrodi opportunamente disposti fluisce nel circuito elettrico esterno.

Per lo studio di tale metodo di produzione di energia elettrica è stato costruito a Frascati un impianto di prova. In tale impianto si simula la sorgente di calore con uno scambiatore di calore a palline di allumina, riscaldato a 2000 °K elettricamente^{/1/}. Lo schema principale di tale impianto è mostrato in Fig. 1.1.

Le specifiche principali di tale impianto sono:

- portata di elio : 50 + 200 gr/sec
- frazione di cesio : 0.1 + 2 %at
- temperatura di ristagno : 1800 °K
- pressione di ristagno : 1 + 6 Ata
- numero di Mach : 0.4 + 0.8
- dimensioni tipiche del condotto
 - altezza (normale alla velocità ed al campo magnetico) : 5 cm
 - lunghezza : 30 cm
 - larghezza : da 3 a 3.3 cm
- induzione magnetica : fino a 5 Tesla

- tempi caratteristici : durata del flusso di elio e cesio circa 60 sec
durata della induzione magnetica 10 sec

Nel funzionamento dell'impianto si possono distinguere tre fasi. Nella prima, della durata di circa una settimana, si deve portare lo scambiatore di calore ed il condotto ad una temperatura dell'ordine di 1800 °K mantenendo tutto l'impianto sotto un vuoto migliore di 10^{-4} mmHg. Nella seconda fase, della durata di alcune ore, si prepara l'impianto per l'esperienza, e cioè: si carica un serbatoio da 1 m³ a 40 atm di elio, e si raffredda il magnete con azoto liquido alla temperatura di 77 °K.

La sequenza delle operazioni della terza fase che è l'esperimento vero e proprio è riportata in Fig. 1.2. Prima si stabilisce un flusso di elio tra il serbatoio a monte e quello a valle, poi si inietta il cesio e quindi si chiude il circuito dell'induzione magnetica. Durante tale periodo di tempo per provare il comportamento del generatore in vari stati si connette ciascuna delle 30 coppie di elettrodi con una serie di resistenze diverse, si inserisce o disinserisce un circuito di preionizzazione, ed altre eventuali operazioni. Dopo si passa di nuovo alla fase due per la preparazione di un altro esperimento. Un ciclo di esperimenti dura circa due mesi.

1.2 Grandezze caratteristiche e modalità di acquisizione

Le grandezze da misurare si possono distinguere in tre gruppi:

a) grandezze di controllo, come temperature, misure di vuoto, tensioni e correnti, con tempi caratteristici di variazio-

ne dell'ordine di diversi secondi; per tale ragione le misure di tali grandezze vengono eseguite con strumenti ad indice da pannello e con registratori potenziometrici a punti.

- b) Grandezze caratteristiche del flusso di elio e cesio nella terza fase, quali portata del flusso, pressione, temperatura e numero di Mach. con tempi caratteristici dell'ordine del secondo.
- c) Grandezze utili per la definizione delle prestazioni del convertitore, quali le tensioni tra coppie di elettrodi opposti (tensioni di Faraday) con valori da 10 a 400 V, correnti tra elettrodi opposti con valori da 0.1 a 10 A, tensioni tra elettrodi adiacenti (tensioni di Hall) con valori massimi previsti tra la prima e l'ultima coppia di elettrodi di 2000 V, ed altre misure varie come tensioni tra sonde interne, corrente e tensione di preionizzazione, valori della induzione magnetica. Tutte queste grandezze hanno tempi caratteristici dell'ordine di un ventesimo di secondo.

Le misure del terzo gruppo sono caratterizzate dall'aver una tensione di modo comune elevata (circa 2000 V).

Le misure delle grandezze in b) (circa una decina) e quelle in c) (circa una trentina) nella prima serie di esperimenti (marzo 1967, novembre 1967, dicembre 1969) erano eseguite con quattro registratori multicanali galvanometrici a specchio, e con la registrazione dei dati su carta fotosensibile. Tale metodo di misura analogica ha subito presentato i seguenti inconvenienti:

- a) difficoltà di avere una dinamica sufficientemente alta in modo da ottenere una elevata sensibilità di misura in tutti i regimi previsti, da cui seguiva la necessità di cam-

biare la scala di misura durante un esperimento e tra un esperimento ed il successivo.

- b) Scarsa precisione in assoluto delle misure; è infatti difficile scendere con l'errore di fondo scala sotto il 3%.
- c) Difficoltà di una rapida lettura delle registrazioni per il lungo e scomodo lavoro di lettura e individuazione di ogni tracciato (basti pensare che su una carta larga 15 cm si hanno contemporaneamente 10 tracce, con variazioni medie di circa 5 cm distinguibili solo per una interruzione sfalsata delle tracce). Questo fatto comporta un notevole impegno di personale nella lettura dei dati e di conseguenza un elevato costo, ed inoltre la impossibilità di analizzare i risultati tra un esperimento ed il successivo (intervallo di circa 24 ore), e quindi di conseguenza un uso non ottimizzato delle apparecchiature sperimentali.

A causa di questi vari inconvenienti è sorta la necessità di automatizzare l'acquisizione e l'elaborazione dei dati.

1.3 Scelta del sistema automatico di acquisizione

Ogni esperimento sul convertitore MHD è caratterizzato da tre fasi in ognuna delle quali le caratteristiche e le modalità di acquisizione dei dati variano.

La prima e la seconda fase, della durata di circa una settimana, riguardano la messa a regime dell'impianto e quindi il problema è di leggere i dati ad intervalli regolari (1 lettura al minuto per grandezza), confrontarli con valori limite e ogni tanto stampare pressioni, temperature, tensioni e correnti per un totale di circa 80 grandezze.

La terza fase, della durata di circa 60 secondi, è quella che si riferisce all'esecuzione dell'esperimento vero e

proprio. Durante questa fase è necessario acquisire e memorizzare 20 grandezze con la frequenza di una lettura al secondo per grandezza. Durante questa fase, per un periodo di 10 secondi, che è il periodo più importante dell'esperimento, è necessario acquisire e memorizzare circa 30 grandezze (oltre alle precedenti) con la frequenza di almeno 20 letture/secondo per grandezza. Al termine dell'esperimento è necessario mantenere il circuito a regime e quindi ritornare alla seconda fase e contemporaneamente avere una qualche indicazione sui dati acquisiti per programmare meglio il successivo esperimento.

Per superare le limitazioni e gli inconvenienti che si avevano con l'impiego dei registratori galvanometrici, sono state studiate alcune possibilità di acquisizione dati in grado di soddisfare le esigenze connesse alle tre fasi. Le soluzioni prese in esame sono state le seguenti:

- impiego di un data-logger
- impiego di un registratore analogico o digitale
- impiego di un sistema con un piccolo calcolatore.

Un data-logger avrebbe permesso di acquisire le grandezze della prima e seconda fase e con qualche accorgimento anche parte delle grandezze della terza fase, ma certamente sarebbe stato insufficiente, per la sua limitata velocità, ad acquisire i dati durante i 10 secondi menzionati.

La soluzione con registratore magnetico avrebbe permesso di superare la limitazione nella velocità di acquisizione, pur con, un costo eccessivo in relazione al numero di grandezze da memorizzare contemporaneamente, ma non avrebbe permesso di visualizzare i risultati in maniera semplice poiché l'elaborazione dei dati memorizzati doveva essere fatta successivamente fuori linea su un opportuno sistema di calcolo.

La soluzione di un sistema automatico con un piccolo calcolatore sarebbe stata invece in grado di soddisfare tutte le esigenze connesse alle tre fasi ed inoltre, avrebbe presentato un'ampia flessibilità di impiego essendo dotato di una unità programmabile.

Da un punto di vista delle prestazioni, messe a confronto le tre soluzioni, è risultato evidente che la terza era nettamente da preferire alle altre anche solo da un esame molto sommario come quello che è stato fatto.

Facendo poi una valutazione dei costi delle tre alternative, nell'ipotesi di voler soddisfare tutte le esigenze di acquisizione ed elaborazione dei dati, la soluzione di un sistema automatico con un piccolo calcolatore veniva ad avere un costo inferiore alle altre. Considerato quindi che sia da un punto di vista tecnico che economico l'impiego di un piccolo calcolatore risultava nettamente preferenziale, non si è ritenuto opportuno approfondire ulteriormente l'indagine comparativa e si è rivolta l'attenzione alla definizione della configurazione da dare al sistema per soddisfare le diverse esigenze tecniche e nello stesso tempo rientrare nei limiti di spesa previsti.

1.4 Specifiche de' sistema

Nel definire le specifiche del sistema sono state tenute presenti le diverse fasi dell'esperimento, ognuna delle quali è caratterizzata da differenti velocità di acquisizione. Si è fatto pertanto una distinzione fra grandezze a scansione lenta e grandezze a scansione veloce, intendendo per grandezze a scansione lenta quelle lette con una frequenza non superiore a 1 Hz. Per queste grandezze, data la loro diversa natura e quindi la variabilità della loro dinamica in tensione, è stato previsto di leggerle attraverso un multiplexer a relè e

un convertitore analogico/digitale di tipo integrativo. In questo modo infatti non è necessario nessun adattamento dei vari segnali poichè il fondo scala del convertitore si adegua automaticamente o a programma al valore di tensione letto.

Le grandezze cosiddette veloci, come già visto, hanno valori di tensione molto alti, dell'ordine del migliaio di volt, sia come valore effettivo che come valore di modo comune, valori nettamente superiori ai limiti ammessi dalle apparecchiature di selezione e conversione disponibili in commercio. Pertanto per queste grandezze era necessario prima di tutto ridurre opportunamente i livelli di tensione e poi procedere alla loro acquisizione. Nella richiesta di offerta alle ditte si è preferito specificare soltanto la velocità di selezione e acquisizione lasciando ampia libertà alle varie ditte interpellate di proporre soluzioni sul come ridurre le tensioni a valori accettabili.

E' stata fatta una valutazione di massima della mole di dati da acquisire e del tipo di operazioni da effettuare, in modo da dimensionare sia la capacità di memoria che la potenzialità di calcolo del sistema. Da questa analisi è risultato che oltre alla memoria centrale era necessario disporre di una memoria di massa per immagazzinare tutti i dati dello esperimento. Per la capacità elaborativa del sistema si è visto che non erano richieste particolari esigenze e quasi tutti i piccoli calcolatori disponibili in commercio potenzialmente sarebbero stati in grado di svolgere le funzioni richieste. Questo perchè l'obiettivo era quello dell'acquisizione e visualizzazione preliminari dei risultati, mentre per la elaborazione completa dei dati, che non aveva interesse effettuare durante l'esperimento, si sarebbero utilizzati fuori linea i mezzi di calcolo numerico del C.N.E.N.

Nella definizione di dettaglio della configurazione

di massima delle periferiche l'orientamento generale è stato quello di prevedere in una prima fase il minimo di periferiche in grado di assicurare il funzionamento, avendo però la possibilità di successiva espansione.

Riguardo poi ai programmi di calcolo per l'acquisizione era chiaro che con un piccolo calcolatore come quello previsto nel sistema non era pensabile di avere dalla ditta costruttrice dei programmi già predisposti o dei linguaggi di facile utilizzazione. Questi programmi dovevano quindi essere realizzati ad hoc, e da un'indagine preliminare si era visto che, a parte il costo eccessivo, risultava estremamente difficile commissionarli all'esterno, sia perchè le funzioni del sistema non erano definite sufficientemente in dettaglio sia perchè, data la natura dell'esperimento, le modalità di acquisizione potevano variare.

Si è pertanto preferito chiedere solo i programmi di base del sistema e partendo da questi, a livelli di sofisticazione crescenti, realizzare i programmi di acquisizione ed elaborazione.

1.5 Descrizione del sistema scelto

Le specifiche del sistema sono state inviate ad un certo numero di ditte per una gara di appalto concorso e, secondo la prassi in atto al CNEN, un'apposita commissione ha esaminato le diverse offerte e in base a considerazioni tecnico-economiche ha scelto quella che più rispondeva alle specifiche. Si riassumono qui brevemente le caratteristiche del sistema prescelto:

- Calcolatore SELENIA GP-16 con memoria di 8 K parole da 16 bit
- Orologio in tempo reale

- Telescrivente di servizio
- Lettore/perforatore veloce di banda
- Memoria a tamburo con capacità 120 K parole di 16 bit
- Unità di ingresso segnali di stato (32 segnali)
- Unità ingressi analogici a scansione lenta formata da:
 - un convertitore A/D di tipo integrativo con tempo di integrazione pari a 20 msec
 - un multiplexer a relè a 100 canali
- Unità di controllo
- Unità ingressi analogici a scansione veloce formata da:
 - 32 adattatori di ingresso
 - 32 convertitori tensione/tempo
 - unità di decodifica a 32 ingressi
 - multiplexer digitale a 32 canali
- Software di base comprendente:
 - caricatore binario
 - assemblatore nella versione 8 K
 - compilatore FORTRAN
 - programmi di gestione delle unità periferiche e delle unità di ingressi analogici.

La ditta fornitrice del sistema è risultata la Selenia, la quale però si è valsa della collaborazione della Teledata per la parte relativa agli ingressi analogici.

È stata giudicata particolarmente interessante e originale la soluzione proposta e realizzata dalla Teledata per l'acquisizione dei segnali ad alta tensione. Si tratta di una serie di convertitori, uno per ogni grandezza, isolati elettricamente, che posti vicini ai punti di misura convertono la tensione in un impulso di durata dipendente dalla tensione. Il segnale così ottenuto viene isolato mediante guida

di luce in plastica ed inviato ad un secondo blocco connesso ai circuiti di decodifica posti vicino al calcolatore. La selezione dei diversi canali viene fatta digitalmente dal calcolatore mediante una opportuna configurazione binaria.

2. PROGRAMMA DI ACQUISIZIONE DATI

2.1 Generalità sulle funzioni svolte dal programma

Il programma in oggetto agisce sul sistema di hardware precedentemente descritto. Durante il tempo di operazione in linea con l'impianto, il programma svolge le seguenti funzioni generali:

- a) acquisizione delle grandezze volute.
- b) immagazzinamento dei valori misurati su memoria di massa.

Una opportuna sezione di inizializzazione provvede a predisporre le unità periferiche interessate, ad attivare le interruzioni di programma da utilizzare, a far partire l'orologio in tempo reale.

La funzione generale a) viene svolta in modo sincrono, con l'ausilio del suddetto orologio. Sia la temporizzazione delle varie operazioni da fare, sia il prelevamento dei valori misurati, avvengono sulla base di interruzioni di programma.

I parametri di acquisizione, tra quelli prestabiliti, vengono scelti in relazione alle condizioni sperimentali, le cui variazioni vengono segnalate al programma a mezzo ancora di interruzioni.

Come si vede, il sistema di interruzioni di programma gioca un ruolo molto importante nello svolgimento della funzione generale a).

Per la parte b) invece, il programma opera in modo asincrono ed inoltre indipendentemente dalla parte a). Infatti esso procede nel modo seguente: saggia, con opportuna priorità, lo stato di certi indicatori pieno/vuoto delle aree di scambio (vedi più avanti); se una di dette aree è piena, procede all'innesco del trasferimento dei dati in essa contenuti

sulla memoria di massa; saggia con continuità lo stato di questo traferimento in corso fino alla sua conclusione e, in caso di superamento del tempo limite, lo annulla; quindi torna a saggiare gli indicatori suddetti e procede come sopra.

Inoltre la parte b) svolge anche la funzione di programma di attesa per la parte a), che, come si è detto, opera sulla base di interruzioni di programma.

Una opportuna sezione di finalizzazione provvede a disabilitare le interruzioni di programma, ad uscire fuori linea dall'impianto, a fermare l'orologio, a liberare le periferiche. Subito dopo l'esperimento, il programma non più in linea con l'impianto procede al trasferimento dei dati raccolti dalla memoria di massa sul nastro di carta perforato, operando, nel contempo, un opportuno riordinamento dei dati stessi.

Quanto sopra detto è schematizzato nelle Figg. 2.1, 2.2, 2.3.

2.2 Abilitazione dei moduli di acquisizione dipendentemente dalle condizioni dell'esperimento

Questa funzione viene svolta dal programma sulla base di interruzioni richieste dall'esterno. Una opportuna interfaccia comunica al calcolatore, con una interruzione di programma, le variazioni delle condizioni di esperimento; queste vengono determinate da un sistema hardware esterno di controllo e gestione dell'esperimento stesso.

E' chiaro che nelle variazioni di cui sopra sono comprese solo quelle che comportano variazioni dei parametri di acquisizione.

Per quanto segue, si fa riferimento alla Fig. 2.4.

La funzione di programma di attesa viene svolta ancora dalla parte b) di cui si parla nel precedente punto 2.1.

Accettata l'interruzione, il programma relativo pren

de il controllo, procedendo alla ricerca ed individuazione delle variazioni avvenute. Esso saggia lo stato di ogni singolo bit di una parola binaria, la quale viene fornita dall'impianto e contiene le informazioni relative.

Lo stato alto di uno di questi bits indica che si è verificata una variazione di certe condizioni sperimentali; a questo sono associate alcune operazioni che il programma deve fare e principalmente l'abilitazione di alcuni moduli di acquisizione e la disabilitazione di altri. Poichè lo stato di questi bits è determinato dall'impianto, potrebbero verificarsi degli errori dovuti ad un qualche segnale spurio che, entrando nel punto di rilevamento o sulla linea di trasmissione del segnale vero, porta allo stato alto un qualche bit della suddetta parola, con conseguente innesco di operazioni non volute. Per ridurre la probabilità del verificarsi di tali errori, a parte le precauzioni prese nella realizzazione del relativo hardware, il programma di interruzione, quando uno dei bits suddetti è passato allo stato alto, oltre ad effettuare le operazioni associate, provvede anche a mascherare questo particolare bit; in tale modo un eventuale successivo segnale spurio su questa stessa via non viene più preso in considerazione. Questo elimina la possibilità di errori per quel particolare bit, per tutto il tempo successivo alla sua prima utilizzazione; non dà invece nessuna protezione per il tempo precedente ed inoltre presenta l'inconveniente che, se arriva prima un segnale spurio del tipo già detto, questo viene onorato come vero e un eventuale successivo segnale vero sulla stessa via viene ignorato. D'altra parte, senza questa protezione, la sensibilità ad errori del tipo detto rimane per tutto il tempo dell'esperimento; inoltre il fatto di onorare più segnali successivi non previsti sulla stessa via, siano essi veri o di errore, porterebbe ad un accavallarsi di opera

zioni analoghe non senza danno per il buon andamento della acquisizione.

Esaminata la cosa, si è ritenuto opportuno adottare la protezione suddetta, accettandone le limitazioni ed i rischi. Naturalmente, all'inizio, è necessario un opportuno aggiustaggio per sensibilizzare il programma a tutti i bits ne cessari della parola in questione.

A questa stessa parte del programma è affidata la gestione dell'indicatore di fine esperimento, sempre su comando dell'impianto esterno.

2.3 Attivazione e controllo temporale dei moduli di acquisizione abilitati

Da quanto detto al punto 2.2. in un generico istante, durante l'esperimento, esistono dei moduli di acquisizione abilitati. Questi devono essere attivati con una frequenza stabilita per ciascuno e controllati in tempo; queste due funzioni vengono svolte da un programma asservito ad un orologio in tempo reale.

Questo orologio fornisce una forma d'onda impulsiva con frequenza di ripetizione scelta a software, nella fase di inizializzazione, entro una certa gamma: tale scelta viene fatta in base alle frequenze di acquisizione in gioco in tutto il processo ed alla risoluzione in tempo che si richiede. Nel nostro caso è stata scelta una frequenza pari a 100 Hz.

In corrispondenza ad ognuno degli impulsi generati da questo orologio, viene richiesta una interruzione di programma; a questa è associata l'esecuzione del programma che svolge le funzioni in questione.

Questo programma, che chiameremo PUGT, aggiorna l'ora e, per ciascuno dei moduli di acquisizione al momento abilitati, incrementa un opportuno contatore di intervallo di

tempo associato, controlla se è stato raggiunto l'intervallo richiesto e, in caso affermativo, attiva il modulo stesso. Il fatto che queste operazioni vengano effettuate da un programma di interruzione, assicura che l'attivazione dei moduli di acquisizione avvenga in modo sincrono, senza perdita eventuale di un passo e con un errore molto piccolo sull'istante di lettura. Un diagramma di flusso di questo programma è riportato nella Fig. 2.5.

2.4 Moduli di acquisizione

Nel sistema in questione, un generico modulo di acquisizione deve acquisire i dati e scaricarli in una opportuna area di scambio ad esso associata. L'indirizzo di questa area è reso disponibile per altre parti del programma e lo stato di pieno/vuoto è anche esso reso noto attraverso il posizionamento 0/1 di un bit indicatore assegnato a ciascuna area in una opportuna parola di controllo. Questa parola è di 16 bits, per cui con un tale sistema è possibile gestire 16 aree di memorizzazione. Con una modifica abbastanza semplice si può alzare questo limite.

Questa modifica però, così come la struttura stessa del sistema di scambio, non è operativamente flessibile, dovendo essere definita in fase di generazione del programma stesso.

Il numero delle aree di scambio assegnate a ciascun modulo di acquisizione è determinato dai tempi richiesti per le operazioni di lettura e successivo trasferimento su memoria di massa, tenendo conto della frequenza di acquisizione relativa.

Queste aree si scambiano tra loro la caratteristica di area vuota, pronta per essere caricata con i dati acquisi

tio di area piena pronta per essere scaricata su memoria di massa. Questo scambio avviene in rigida sequenza temporale, e lo stato pieno/vuoto è segnalato dal bit indicatore già nominato; tale indicatore viene portato nello stato "pieno" dal modulo di acquisizione e nello stato "vuoto" dal programma che scarica l'area e provvede all'immagazzinamento su memoria di massa. Se il modulo di acquisizione trova questo indicatore nello stato di "pieno", questo significa che si è verificato un ritardo eccessivo nella operazione di immagazzinamento, a causa, per esempio, di una intempestiva risposta dell'unità periferica; in tal caso, viene cancellato il contenuto della area e viene ricaricata quest'ultima con i nuovi dati. In questo modo si rischia soltanto una perdita accidentale di un punto di misura per ogni grandezza senza altre complicazioni; è confortante il fatto che questo inconveniente non si è mai verificato nella serie di esperimenti per i quali è stato usato il sistema.

Nel programma attuale vi sono due soli moduli di acquisizione: uno denominato "lento" (ACQL), che gestisce la acquisizione dal multiplexer "lento", e l'altro "veloce" (ACQV) che acquisisce dal multiplexer digitale "veloce".

2.4.1 Modulo di acquisizione lenta: ACQL. Questo modulo è costituito da due sezioni, una di inizializzazione ed una di continuazione. La prima viene attivata dal programma PUGT con la frequenza richiesta dalle specifiche dell'acquisizione "lenta". Essa ha a disposizione due aree di scambio risultate sufficienti data la bassa frequenza di acquisizione. Queste due aree vengono alternativamente caricate con i dati di volta in volta acquisiti.

Come si è detto più sopra, se, in un generico istante di caricamento, il modulo trova l'area assegnata ancora

piena dei dati precedentemente immessi, esso procede ugualmente al caricamento della stessa cancellando di conseguenza i dati in essa già memorizzati.

E' bene notare che l'unità di ingresso "lenta" è costituita da un multiplexer analogico e da un unico convertitore analogico/digitale che viene di volta in volta assegnato al canale al momento selezionato. Pertanto la conversione, e quindi la lettura, avviene separatamente per ogni singolo canale. Conseguentemente anche il driver che gestisce l'unità in questione opera su un solo canale per volta; in particolare, deve essere fornito al driver un singolo indirizzo ed un valore di scala, sulla cui base viene effettuata la lettura. Tenendo presente ciò, si vedrà ora il modo di operare del modulo di acquisizione relativo all'unità "lenta".

La sezione di inizializzazione del modulo, avuto il controllo, individua l'area di scambio al momento assegnata all'acquisizione, aggiusta opportuni indicatori, carica nella area il tempo attuale, trasferisce alla sezione di continuazione gli indirizzi ed i valori di scala del gruppo di canali da leggere, attiva la suddetta sezione di continuazione, quindi cede il controllo.

La sezione di continuazione, preso il controllo, inizia la lettura del primo canale del gruppo e restituisce il controllo.

A questo punto, per la sezione di continuazione si possono individuare due modi di operare. Secondo un modo che può essere definito asincrono, la lettura di ciascun canale viene innescata solo dopo che è stata completata la lettura del canale che lo precede nel gruppo in acquisizione. Con questo modo di operare, si presenta l'inconveniente che l'istante di acquisizione è noto con precisione solo per il primo canale del gruppo acquisito; mentre per i successivi, non poten

dosi valutare con sufficiente precisione il tempo impiegato per la lettura di ogni singolo canale precedente a causa di eventuali ritardi accidentali rispetto al tempo nominale, l'istante di lettura può essere determinato con precisione tanto più scarsa quanto più il canale in esame è lontano, nel gruppo, dal primo. Inoltre, se nella lettura di un canale si verifica un ritardo eccessivo che fa superare il tempo disponibile per l'acquisizione di tutto il gruppo, questo evento porta alla perdita non solo del dato relativo a quel particolare canale ma anche dei dati relativi a tutti i canali che lo seguono nel gruppo. Questi due inconvenienti non si presentano invece nell'altro modo di operare che può essere definito sincrono.

Infatti, secondo il modo sincrono, si procede come segue: si stabilisce un intervallo di tempo sufficiente per la lettura di un canale in assenza di eventi anomali; dopo l'innescò della lettura del primo canale, con un ritardo pari al suddetto intervallo di tempo, viene dato il controllo alla stessa sezione di continuazione; quest'ultima indaga se la lettura è andata a buon fine, memorizzando in caso contrario un opportuno codice di errore al posto del valore letto; quindi, se vi sono altri canali da leggere, innesca la lettura del canale che segue nel gruppo e restituisce il controllo; se invece il canale letto è l'ultimo del gruppo, allora la suddetta sezione finalizza l'acquisizione, si disattiva e restituisce il controllo.

Come si vede la lettura di ogni singolo canale avviene ad intervalli di tempo ben definiti essendo determinabile con precisione il ritardo con cui viene letto ciascun canale rispetto al primo del gruppo. Inoltre, se la lettura di un canale va fuori tempo, si ha solo la perdita del dato relativo a quel canale, senza alcuna ripercussione sui cana-

li che seguono nel gruppo.

Per questi motivi si è scelto questo secondo modo di operare, cioè il modo "sincrono".

La Fig. 2.6 mostra uno schema di questo modo di operare del modulo ACQL.

2.4.2 Modulo di acquisizione veloce: ACQV. L'unità di ingresso "veloce" è costituita da una serie di convertitori analogico/digitali che funzionano in parallelo, contemporaneamente, uno per ogni canale, e da un multiplexer digitale.

Conseguentemente il driver che gestisce l'unità, quando riceve un comando di lettura, dà il via a tutti i convertitori contemporaneamente per tutti i canali; a conversione ultimata, legge un certo numero di canali, tanti quanti sono stati richiesti, a partire dal primo; i parametri che esso richiede sono soltanto il numero di canali da leggere a partire dal primo e l'indirizzo dell'area dove memorizzare i valori. In aggiunta vi è un canale di ingresso digitale specifico per la lettura delle condizioni di funzionamento del generatore; su questo canale i dati sono sempre presenti, continuamente aggiornati e pronti, quindi, per la lettura.

Tenendo presente ciò, il modulo di acquisizione "veloce" ACQV procede nel modo che viene ora descritto. Esso, se è abilitato, viene attivato dal programma PUGT con la frequenza che compete all'acquisizione "veloce". Nel nostro caso, tale frequenza è pari a 50 Hz. Una volta attivato, questo modulo indaga se c'è stata una acquisizione precedente sulla stessa unità "veloce" e, in caso affermativo, se è andata a buon fine. In tal caso, aggiusta gli indicatori vuoto/pieno delle aree di scambio, individua l'area disponibile, memorizza il tempo attuale, memorizza le informazioni relative alle condizioni attuali di funzionamento ("stato") del ge

neratore, leggendole dal canale di ingresso digitale specifico già menzionato, quindi innesca la lettura sull'unità "veloce" e restituisce il controllo. Se invece l'eventuale acquisizione precedente non è andata a buon fine, allora l'area ad essa destinata viene riutilizzata per la lettura attuale, evitando così di immagazzinare sulla memoria di massa aree che non contengono dati validi; per il resto, tutto procede come sopra descritto.

Quanto detto è riportato in forma schematica nella Fig. 2.7.

Riguardo al dimensionamento delle aree di scambio, tenuto conto del periodo relativo all'acquisizione "veloce", che, nel caso attuale, è pari a 20 msec, e del tempo massimo che può essere richiesto dal trasferimento sulla memoria di massa, che supera di poco i 20 msec, sono risultate necessarie quattro aree di scambio, raggruppate in due doppie aree.

Il caricamento delle suddette aree avviene area singola per area singola, mentre il trasferimento su memoria di massa viene effettuato per gruppi di due aree alla volta.

In questo modo, per l'operazione di trasferimento si dispone di 40 msec di tempo, rientrando con notevole margine nel tempo massimo richiesto dal trasferimento stesso in assenza di eventi anomali.

2.5 Immagazzinamento su memoria di massa dei dati acquisiti

La funzione svolta da questa parte del programma è quella di trasferire sulla memoria di massa, con opportuna priorità, le aree di scambio via via riempite con i dati acquisiti. Inoltre essa svolge, come si è già detto (2.1), anche la funzione di programma di attesa per la parte di acquisizione che lavora con il sistema di interruzione di programma.

Una opportuna parola di controllo, denominata WCAM, indica istante per istante lo stato vuoto/pieno delle aree di scambio. Ad ogni bit della parola suddetta è associata una ben definita area di scambio, della quale lo stato pieno/vuoto è segnalato dal valore 0/1 del bit stesso.

Il programma di cui si parla cerca con continuità le aree piene da trasferire su memoria di massa, saggiando il valore 0/1 di ogni bit della parola di controllo, con priorità decrescente a partire dal bit meno significativo. Ai due bits meno significativi (0 e 1) sono state perciò associate le due doppie aree relative all'acquisizione "veloce", la quale, appunto perchè presenta un flusso di dati a velocità maggiore, richiede una priorità più alta che non l'acquisizione "lenta". Le due aree di scambio relative a quest'ultima, sono state invece associate ai successivi due bits (2 e 3).

All'interno di ognuno dei due gruppi di aree "veloci" e "lente", le aree stesse vengono esaminate in modo tale da rispettare rigorosamente la sequenza temporale con cui sono riempite.

A tale scopo, vengono utilizzate due parole di memoria, delle quali, in ogni momento, una, denominata BCT, indica l'eventuale area in corso di trasferimento su memoria di massa, mentre l'altra, denominata LBT, indica l'ultima area trasferita.

Con continuità si indaga sullo stato di un eventuale trasferimento in corso. Appena quest'ultimo risulta ultimato, se è andato a buon fine, vengono aggiornate le parole BCT e LBT; se invece si è verificato un errore, viene tentato un nuovo trasferimento della stessa area.

Quando, tramite la parola di controllo WCAM, viene richiesto il trasferimento di una nuova area, se accidentalmente è ancora in corso un precedente trasferimento, questo

ultimo viene annullato e vengono aggiornate le parole BCT e LBT come se il precedente trasferimento fosse andato a buon fine; quindi, analogamente al caso di assenza di trasferimento in corso, viene confrontato l'indicatore della nuova area da trasferire con quello dell'ultima area trasferita e, solo se questo risulta diverso, viene effettivamente iniziato il trasferimento, aggiornando corrispondentemente la parola BCT. In questo modo si garantisce che la sequenza di immagazzinamento rispetta quella di acquisizione.

Inoltre quando non è richiesto nessun trasferimento, viene saggiato con continuità anche lo stato di un opportuno indicatore di fine acquisizione, il quale segnala se l'acquisizione stessa continua ancora oppure è finita. In quest'ultimo caso, se vi è un trasferimento ancora in corso, questo viene portato a termine; quindi viene trasferita sulla memoria di massa ed immagazzinata insieme ai dati acquisiti una opportuna tabella TI, contenente informazioni sui dati stessi. Queste informazioni vengono poi utilizzate dal programma che trasferisce sul nastro perforato i dati immagazzinati.

Terminato il trasferimento di questa tabella TI, il controllo passa alla sezione di finalizzazione, la quale provvede ad effettuare le dovute disabilitazioni, cedendo poi il controllo al programma di perforazione.

La Fig. 2.8 riporta uno schema del programma descritto.

2.6 Trasferimento dei dati dalla memoria di massa su nastro di carta perforato

Questa parte di programma provvede a trasferire su nastro di carta perforato i dati immagazzinati sulla memoria di massa, riorganizzandoli opportunamente.

Questi dati su nastro sono destinati ad essere letti ed utilizzati da un programma di elaborazione che opera su un sistema di calcolo più potente.

Sulla memoria di massa i dati acquisiti sono organizzati in gruppi di valori che corrispondono allo stesso istante di acquisizione ma a grandezze diverse.

Sul nastro perforato invece, per una più facile lettura dei dati stessi, conviene che questi siano organizzati in gruppi, nei quali ognuno contiene valori corrispondenti ad una singola grandezza; all'interno di ciascun gruppo, l'ordine rispetta la sequenza temporale di acquisizione.

Anche gli istanti di lettura sono trattati come valori assunti da una particolare grandezza "tempo"; in questo modo per avere l'istante di lettura di un generico valore di una delle grandezze acquisite, basta prendere, della grandezza tempo, quel valore che occupa, all'interno del proprio gruppo, la posizione relativa corrispondente.

Come prima cosa, il programma legge dalla memoria di massa la tabella TI (2.5), nella quale trova le informazioni di cui ha bisogno, come allocazione dei dati sulla stessa memoria di massa, numero di grandezze acquisite, numero di valori letti per ciascuna grandezza, unità di tempo usata.

Quindi, per una generica grandezza di quelle acquisite, i valori corrispondenti vengono prelevati dai gruppi immagazzinati e vengono raccolti in un nuovo gruppo singolo; a quest'ultimo viene associata una opportuna parola di testa, che identifica l'unità di ingresso ed il canale a cui si riferisce la grandezza trattata.

Questo gruppo così generato viene utilizzato da un successivo programma, il quale provvede ad esprimere nelle unità fisiche corrispondenti i valori letti. A tale scopo questo ultimo programma chiede ed accetta, tramite telescrivente, le

informazioni relative alla corrispondenza tra i vari canali delle unità di ingresso e le effettive grandezze acquisite ed insieme i valori di scala, le unità di misura e le caratteristiche degli eventuali trasduttori impiegati in ciascuna linea di misura.

Il programma legge il gruppo di valori relativo ad una generica grandezza, ne individua il canale e l'unità di ingresso e quindi, sulla base delle informazioni avute tramite telescrivente, la sigla della effettiva grandezza fisica acquisita. Successivamente seleziona i corrispondenti parametri di misura, come caratteristica dell'eventuale trasduttore impiegato, unità di misura, valore di scala. A seconda del tipo di grandezza in esame, grandezza letta con l'unità "lenta", grandezza letta con l'unità "veloce", grandezza "stato del generatore", grandezza campo magnetico, sceglie il particolare sottoprogramma adatto a trattarla. A questo punto legge un generico valore della grandezza, lo passa al sottoprogramma scelto, al quale fornisce insieme i parametri di misura già selezionati, ed ottiene il valore della grandezza espresso nell'unità fisica voluta; a quest'ultimo valore associa il corrispondente istante di lettura, espresso anch'esso nell'unità di tempo richiesta, e perfora, quindi, sul nastro di carta, la coppia istante-valore così generata. Proceda così per ciascun valore della grandezza in esame e successivamente, in modo analogo, per tutte le altre grandezze presenti, fino ad esaurimento.

Questo stesso programma provvede a perforare, all'inizio del nastro, la data dell'esperimento a cui si riferiscono i dati stessi. Questa data può essere prelevata dalla tabella TI (2.5) oppure introdotta tramite telescrivente insieme alle altre informazioni.

In definitiva, sul nastro risultante sono presenti

un primo record contenente la data dell'esperimento, tanti macro-records quante sono le grandezze acquisite ed un record di ccda che segnala la fine dei dati.

Ciascun macro-record è costituito da un record iniziale contenente la sigla della grandezza in esso riportata, da una serie di records contenenti ciascuno una coppia istante-valore e da un record finale di chiusura.

In questa ultima versione, sul nastro sono riportate le effettive grandezze fisiche misurate, accompagnate ognuna dagli istanti relativi di lettura.

Il programma di elaborazione che preleva i dati da questo nastro non ha quindi alcun bisogno di tener presente il particolare sistema di misura usato, dal quale perciò prescinde completamente.

Inoltre, il formato con cui sono presentati i dati stessi è tale da poter essere letto da un generico programma scritto in FORTRAN (codice ASCII), senza bisogno di un particolare sottoprogramma di lettura appositamente preparato.

In particolare, si può ottenere facilmente, sulla telescrivente, una stampa immediata dei dati così presenti sul nastro.

3. PROGRAMMA DI ELABORAZIONE

3.1 Generalità

Per poter disporre la grande massa di dati rilevati in una forma facilmente accessibile non è sufficiente il dimensionamento del sistema GP-16, che è particolarmente orientato per l'acquisizione veloce.

In particolare, manca una stampante a righe che consenta una rapida uscita di lunghi tabulati, e soprattutto è ridotta la capacità di memoria, la qual cosa impedisce sia la maneggevolezza di lunghi vettori, che l'effettuazione di elaborazioni sia pure semplici, che sono invece richieste per una migliore comprensione dei fenomeni connessi con l'esperimento.

Si è quindi deciso di utilizzare allo scopo il calcolatore numerico EAI 640 in dotazione al Laboratorio Ingegneria Nucleare; a tal fine, come si è detto, dopo un opportuno ordinamento, i dati vengono perforati su nastro di carta dal calcolatore GP-16 e in questa forma trasferiti sul calcolatore EAI 640.

Il complesso programma (in realtà si tratta di 4 programmi diversi) di lettura, elaborazione e stampa, è stato scritto in linguaggio FORTRAN; la ragione di ciò risiede nella possibilità di trasferire lo stesso programma, con meno modifiche possibili, su un altro sistema, ad esempio un calcolatore sito presso i Laboratori Nazionali di Frascati, o addirittura sullo stesso GP-16, una volta che sia stato opportunamente potenziato; l'uso del ben noto linguaggio FORTRAN permette inoltre una maggiore accessibilità al programma stesso, ai fini della sua gestione e di eventuali modifiche.

Per poter utilizzare le semplici istruzioni di ingresso del FORTRAN, i dati sono perforati su banda di carta

con un opportuno formato e codice.

3.2 Il programma MARIETTA

La prima parte del programma provvede alla lettura del nastro perforato, e al successivo trasferimento dei dati su nastro magnetico.

Su quest'ultimo supporto vengono formati dei "files", ognuno dei quali comprende tutti i campioni di una stessa grandezza, acquisiti nel corso dell'esperimento, assieme ai tempi di campionamento relativi, in secondi e millisecondi: ogni "file" è riconosciuto per mezzo di un identificatore. Vi sono essenzialmente due tipi di "files", uno relativo alle grandezze fluidodinamiche (pressioni e temperature) rilevate durante le fasi dell'esperimento anteriore e posteriore alla generazione del campo magnetico, l'altro relativo alle grandezze elettriche, correnti e tensioni, rilevate nella fase centrale nell'esperimento; fra esse vi è il campo magnetico, e anche un particolare vettore, che descrive campione per campione lo stato del generatore; la differenza fondamentale fra i due tipi di "files" consiste nella loro lunghezza: infatti le grandezze fluidodinamiche sono campionate a bassa velocità e ogni vettore comprende alcune decine di campioni, mentre le grandezze elettriche hanno un intervallo di campionamento dell'ordine delle decine di millisecondi (tipicamente 20), il che comporta, per un esperimento la cui fase centrale duri circa 10 secondi, parecchie centinaia di campioni; è quest'ultimo numero che determina le dimensioni delle matrici, e quindi delle zone di memoria che occorre riservare per esse, che saranno usate nel corso del programma, per il caricamento in memoria di uno o più "files", per accumularvi risultati di operazioni fra grandezze, ecc. Pur con un uso oculato di tali matrici, molta parte della memoria viene occupata dai

dati che vi devono risiedere, e ciò, insieme alla ponderosità del programma di elaborazione, ha costretto a spezzare in più parti il programma stesso.

Una volta che tutti i dati sono stabilmente insediati su nastro magnetico, inizia la fase elaborativa vera e propria.

Un primo programma provvede alla elaborazione delle grandezze fluidodinamiche; vengono considerati campioni acquisiti immediatamente prima e immediatamente dopo la fase centrale, nella quale viene generato il campo magnetico, in modo da ottenere valori indicativi delle condizioni fluidodinamiche del plasma durante la fase centrale.

Successivamente, per mezzo di altri due programmi che agiscono in sequenza, si passa all'esame delle grandezze elettriche; preliminarmente vengono fatte due operazioni di riconoscimento degli andamenti sulle due grandezze "stato" e "campo magnetico".

3.3 Intervalli a "stato costante"

Il singolo campione dello stato è costituito da due parole di 16 bit, le cui configurazioni definiscono appunto lo stato del generatore. Il programma ricerca e memorizza gli istanti di inizio e fine degli intervalli a stato costante; vi sono alcune particolarità nella logica di questa ricerca.

Poichè è prevedibile che nel passaggio da uno stato all'altro si possano avere dei transitori, con la conseguente acquisizione di campioni istante per istante differenti, si è stabilito che un certo stato ha avuto luogo (ossia è stato costante) solo se si riscontra che quello stato si è ripresentato consecutivamente per un certo numero di volte. Inoltre si richiede che l'accidentale presentarsi (per un eventuale errore di acquisizione) di un campione diverso rispetto a

quelli che lo precedono e lo seguono, venga ignorato e non venga quindi considerato come una variazione di stato.

3.4 Intervalli a campo magnetico costante

Il programma prende quindi in considerazione la grandezza "campo magnetico", al fine di ricercarne gli intervalli in cui la grandezza stessa non varia (entro certi limiti). Tale ricerca viene effettuata solo quando il campo stesso supera il valore di 2000 G, e si basa sulla logica seguente: il campione B_n viene considerato facente parte di un intervallo a campo magnetico costante quando vale la relazione:

$$\frac{\sum_{i=n}^{n+h} \Delta B_i}{\sum_{i=n}^{n+h} B_i} \leq 0.05$$

dove $\Delta B_i = B_{i+1} - B_i$

Anche qui gli istanti di inizio e fine di intervallo a campo magnetico costante sono cercati e memorizzati.

3.5 Grandezze elettriche

A questo punto il programma stampa su stampante a linee il grafico temporale del campo magnetico, e inizia poi la tabulazione delle grandezze elettriche richieste.

Fra esse vi sono alcune grandezze che sono direttamente quelle acquisite nell'esperimento, e altre che sono derivate dalle prime.

Nei due casi viene effettuata una tabulazione, per mezzo del sottoprogramma TABUL, le cui caratteristiche vengo no ora brevemente accennate.

3.6 Tabulazione

Negli istanti in cui il campo magnetico non è costante, viene stampato un campione della grandezza considerata (sia V) ogni volta che il contemporaneo campione di B (induzione magnetica) ha avuto una variazione superiore di 1000 G rispetto al campione stampato in precedenza.

La tabulazione del campione comprende la stampa del coefficiente di Hall, dell'istante relativo in secondi e milisecondi, dello stato a quell'istante e infine della grandezza stessa; se l'istante considerato non è compreso in un intervallo a stato costante, e quindi non si può definire uno stato vero e proprio, viene stampata al posto dello stato la parola "indeterminato".

Diversamente si procede negli intervalli a B costante: in essi si considerano insieme tutti i campioni di V corrispondenti a uno stesso stato, si cerca il massimo e il minimo e il valore medio; la tabulazione comporta, allora, la stampa del coefficiente di Hall, dello stato costante, dei suoi istanti di inizio e di fine e tre valori, minimo, medio e massimo, relativi all'intervallo.

Premessa questa organizzazione del programma di elaborazione, è molto agevole aggiungere correlazioni fra grandezze acquisite o derivate diverse da quelle inizialmente previste.

Infatti in ogni esperimento è prevista una sequenza specifica di stati e un insieme particolare di misure; è quindi anche prevista una elaborazione specifica. A questo scopo il programma prevede l'esecuzione di un sottoprogramma che di volta in volta deve essere scritto appositamente.

REFERENZA

- 1/ E. Bertolini, R. Brown, M. Gasparotto, P. Gay and R. Toschi

"Electricity from MHD 1968", I.A.E.A. SM-107 201.
Vol. II, p. 987.

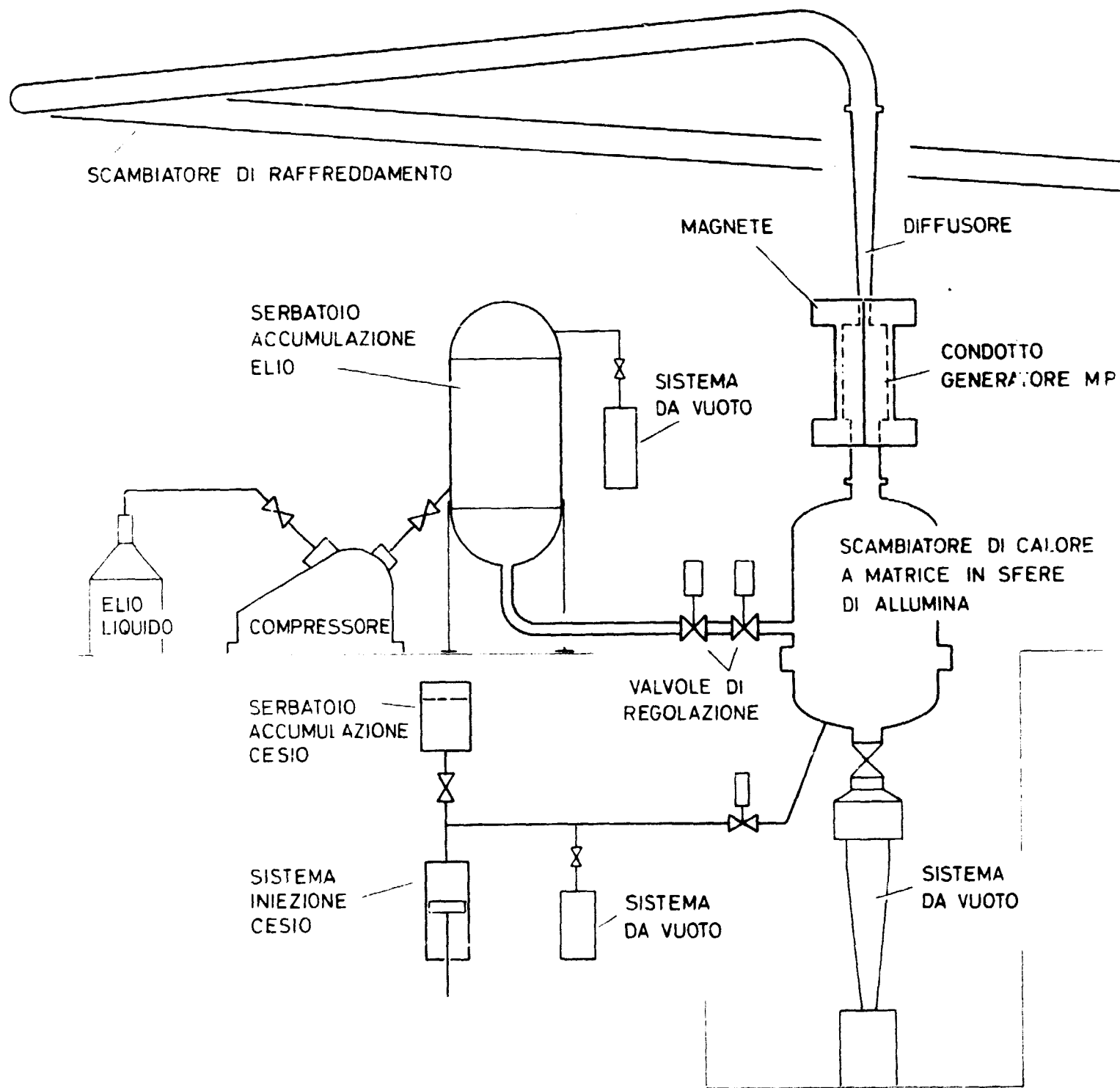
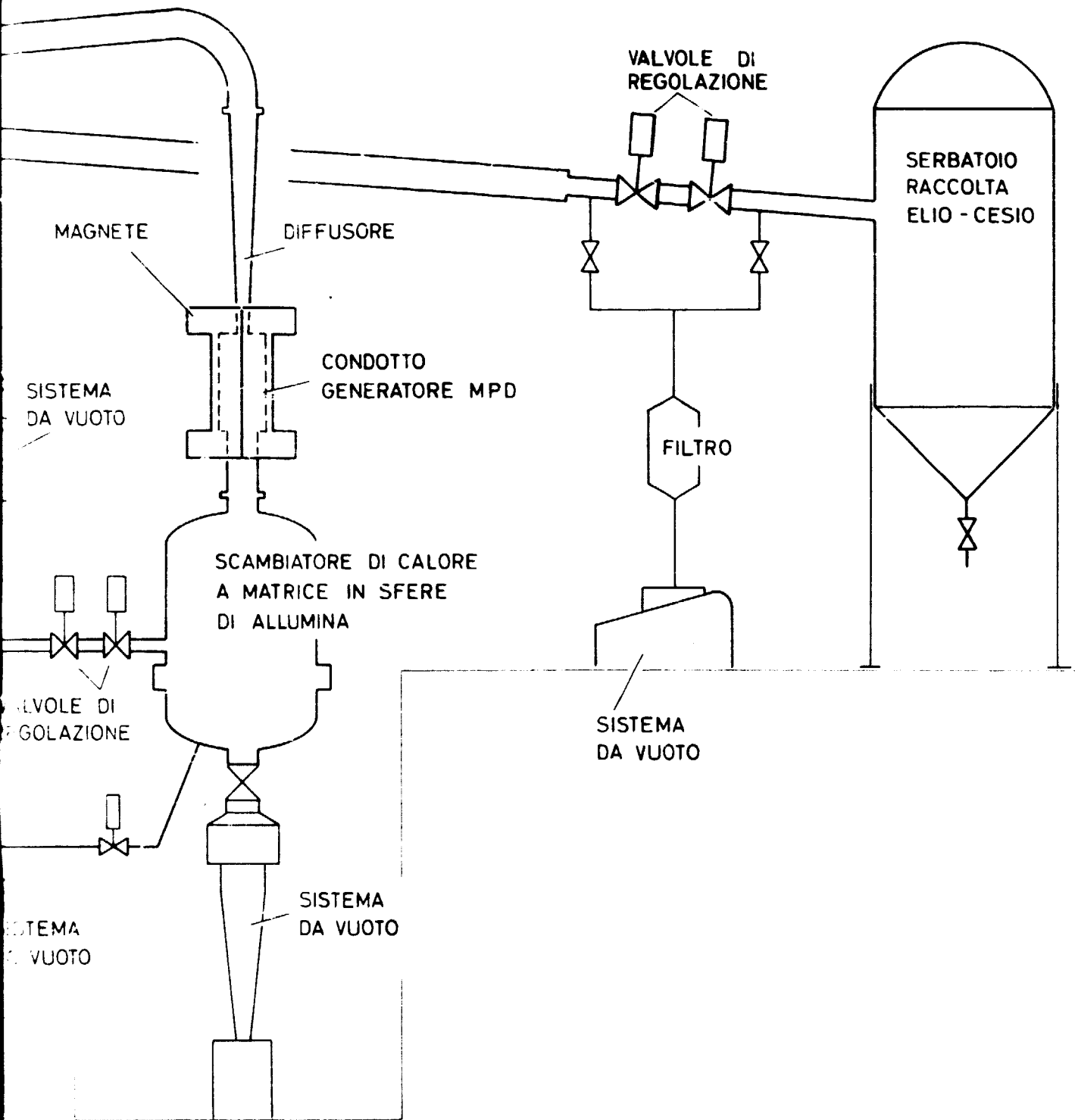


Fig.11 - SCHEMA DELL'IMPIANTO M.P.D. A CICLO CHIUSO PUL

SECTION 1



ANTO M.P.D. A CICLO CHIUSO PULSATO

A1

SECTION 2

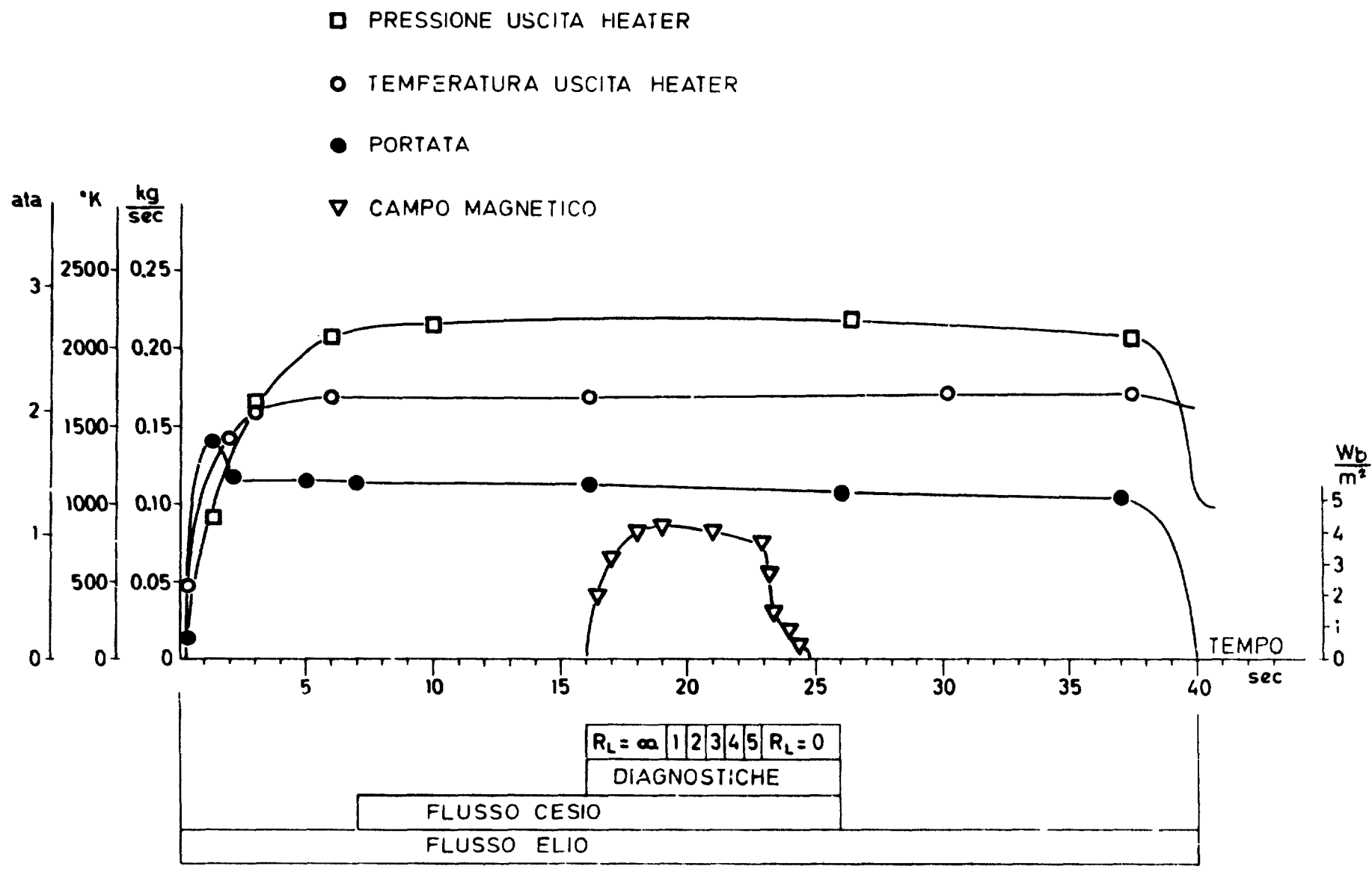


Fig.12 - SEQUENZA ESPERIMENTO

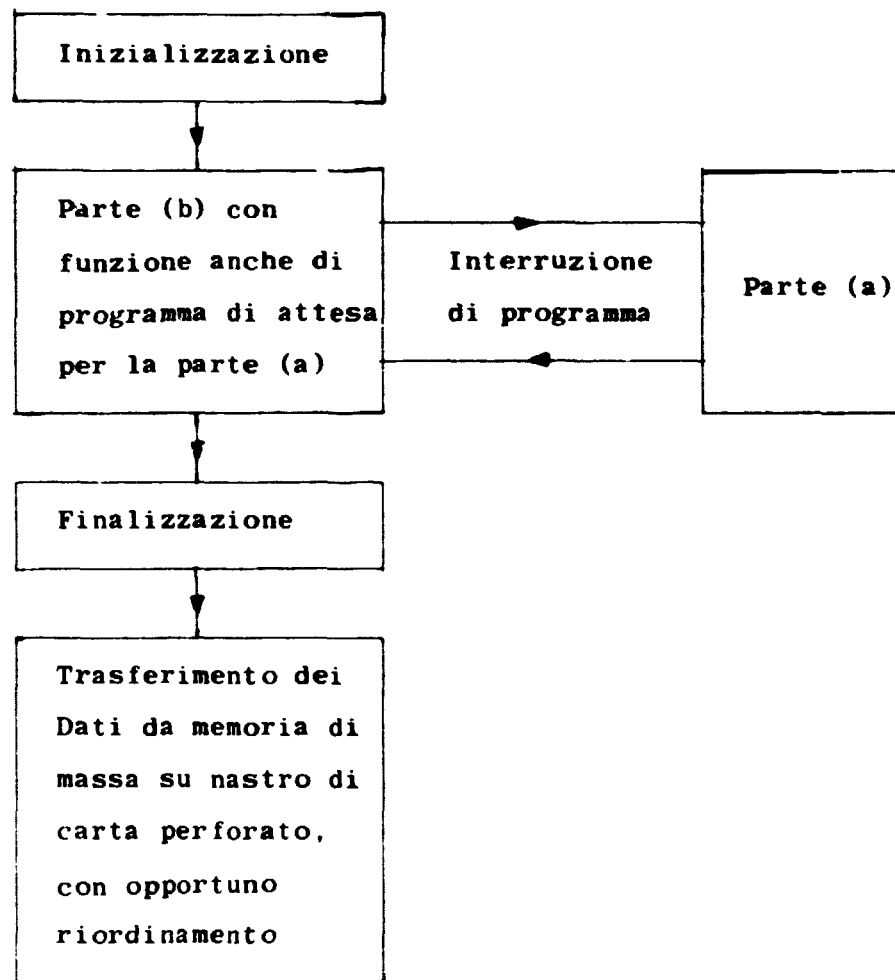
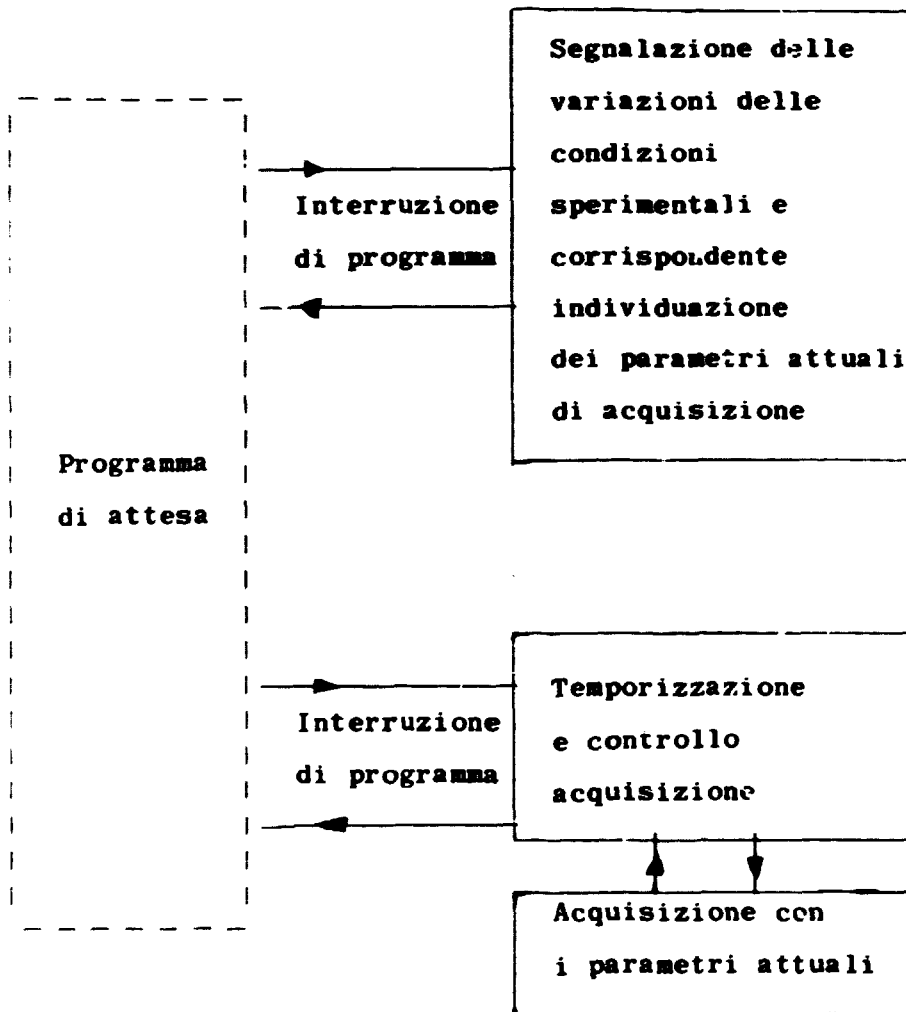
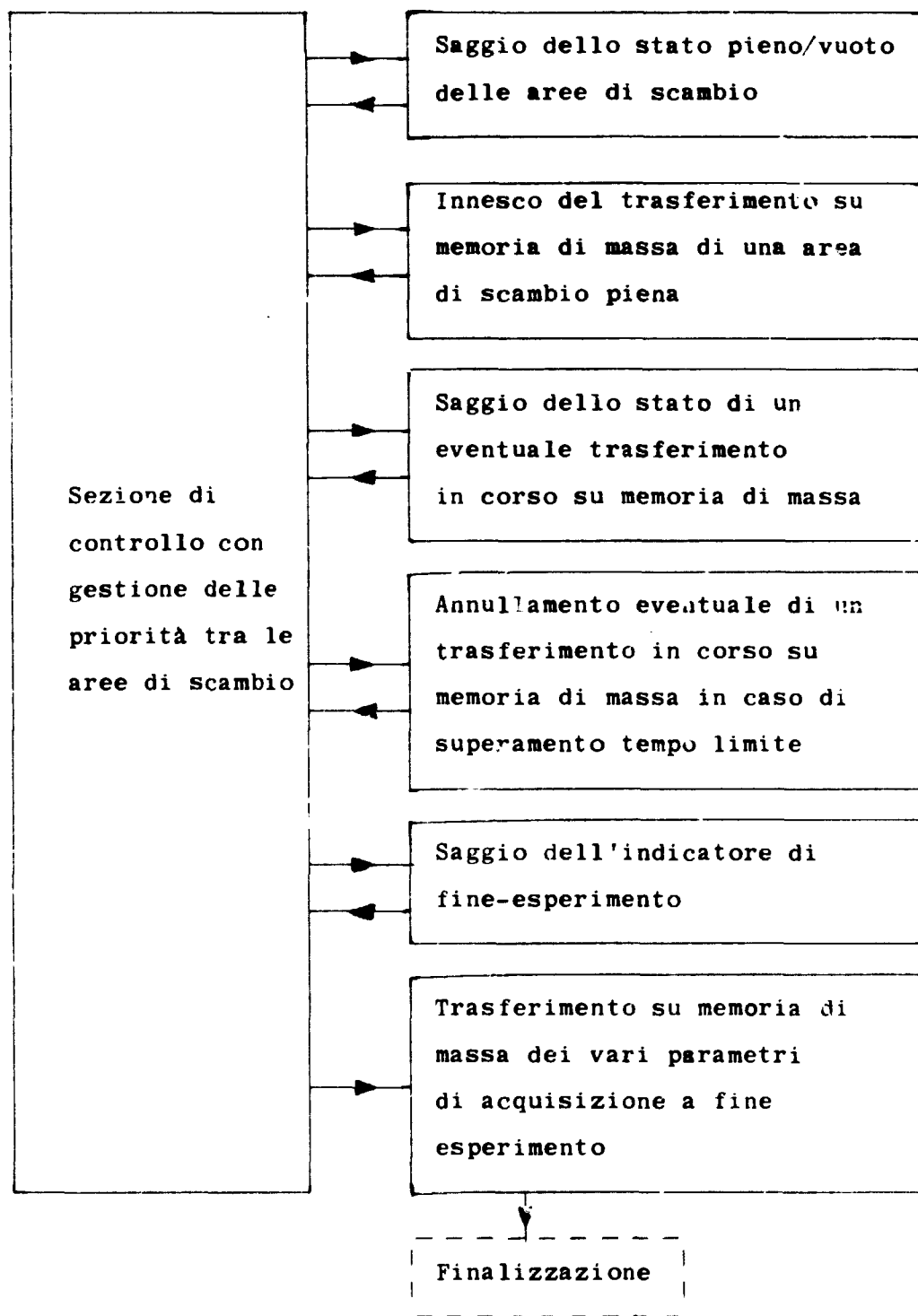


Fig. 2.1



Parte (a) del programma di acquisizione.

Fig. 2.2



Parte (b) del programma.

Fig. 2.3

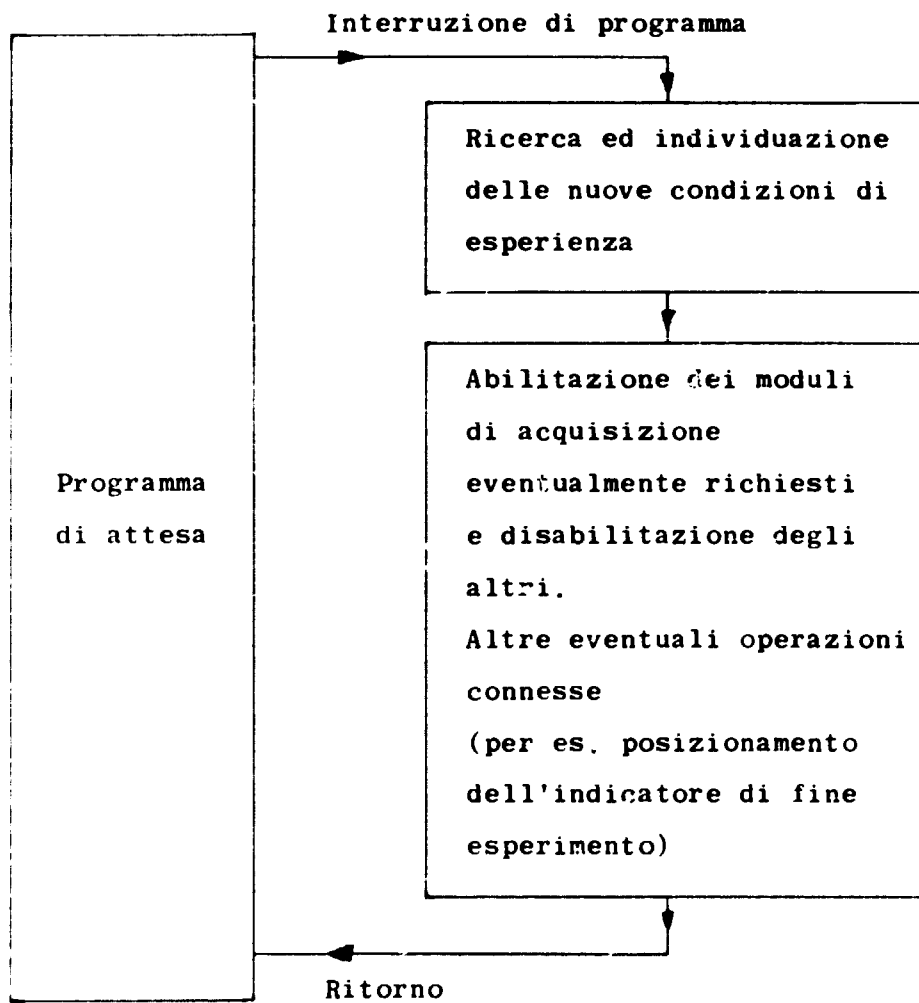


Fig. 2.4

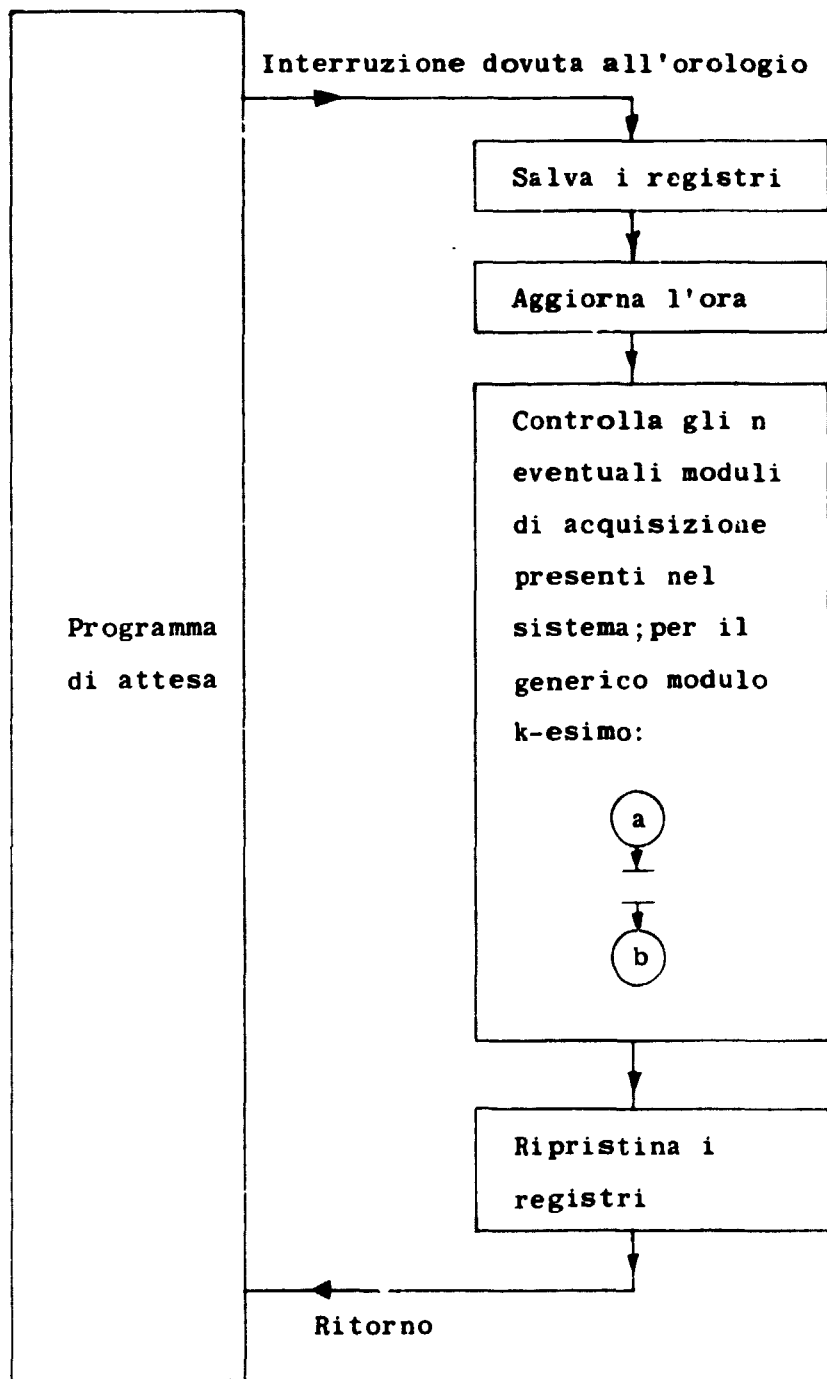


Fig. 2.5 (a)

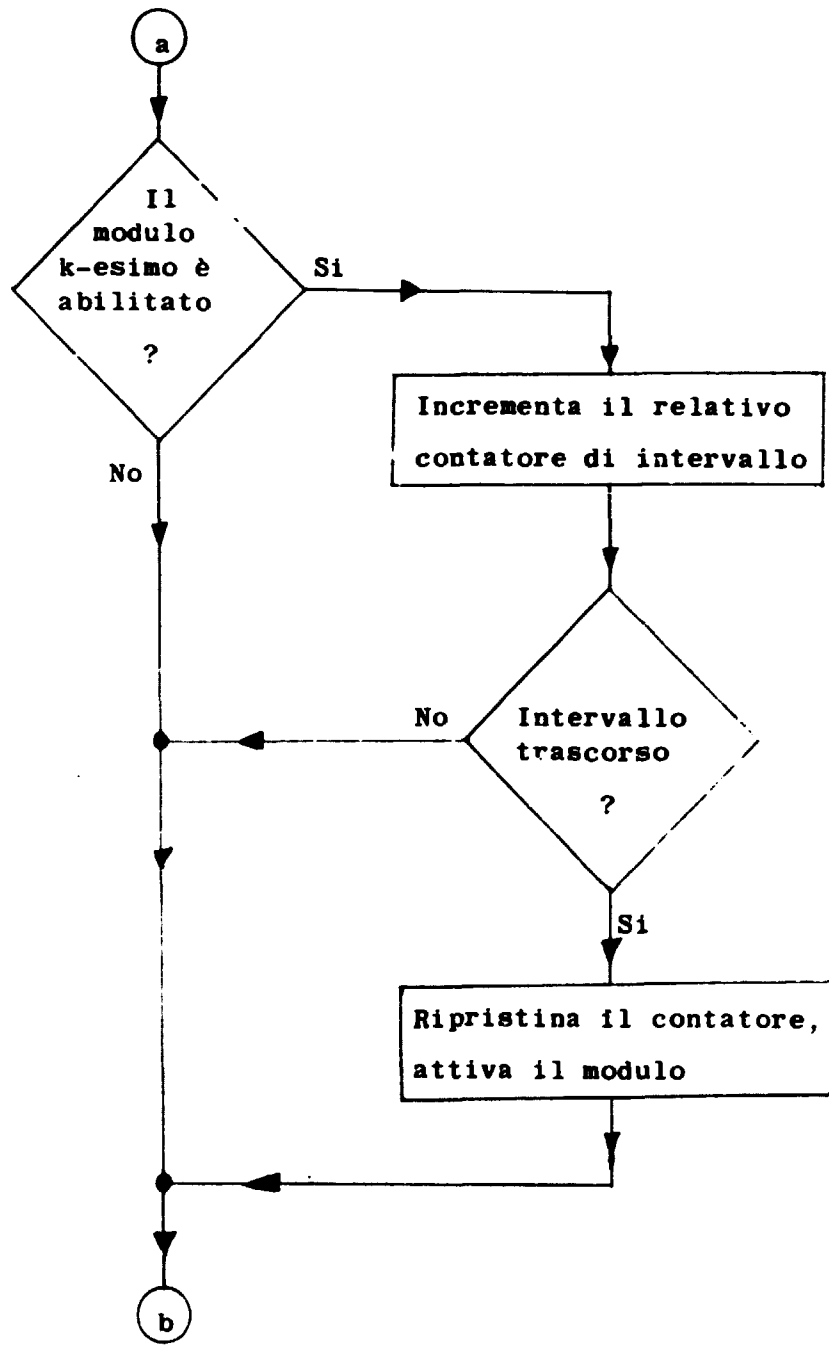


Fig. 2.5 (b)

Programma PUGT

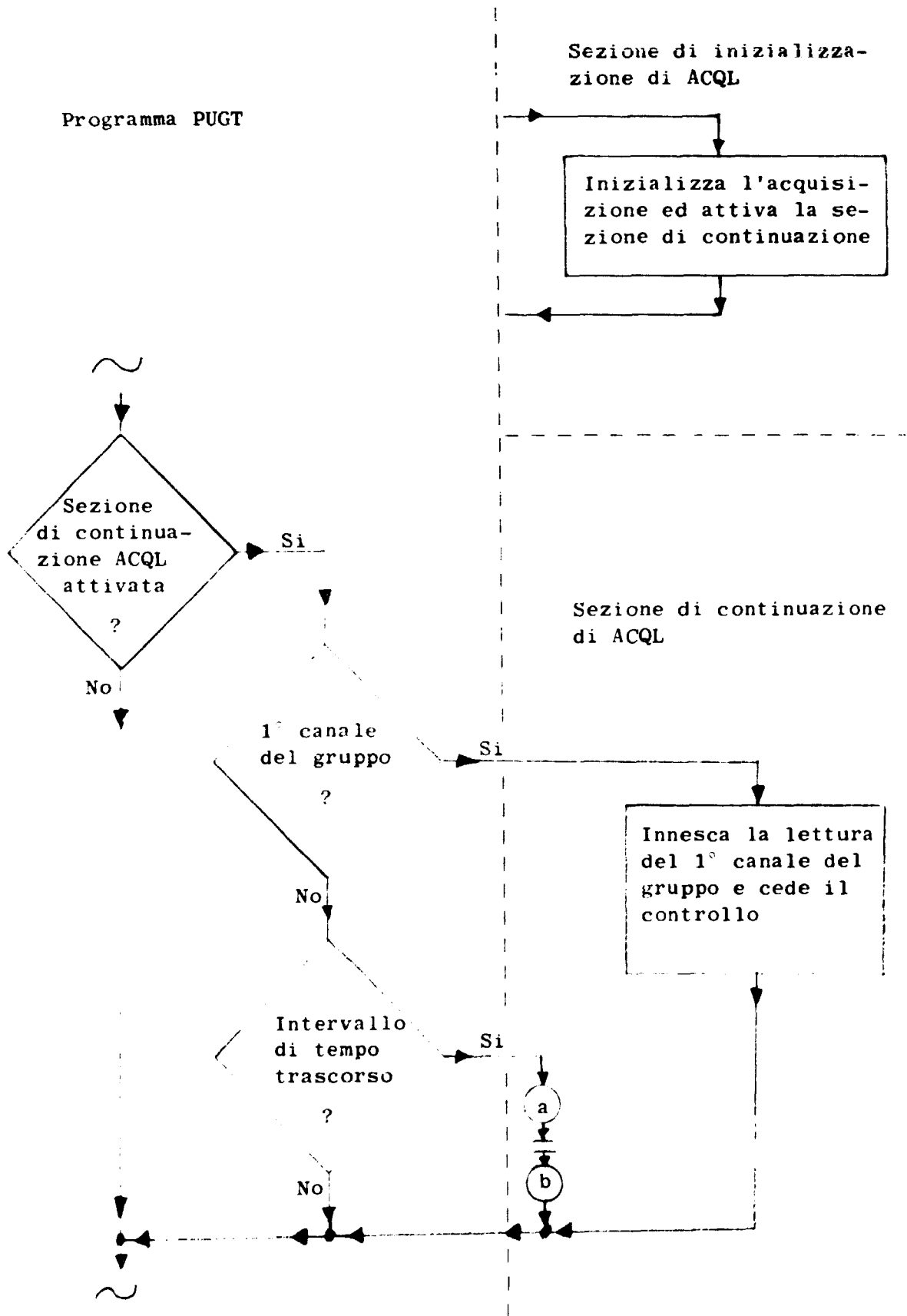


Fig. 2.6 (a)

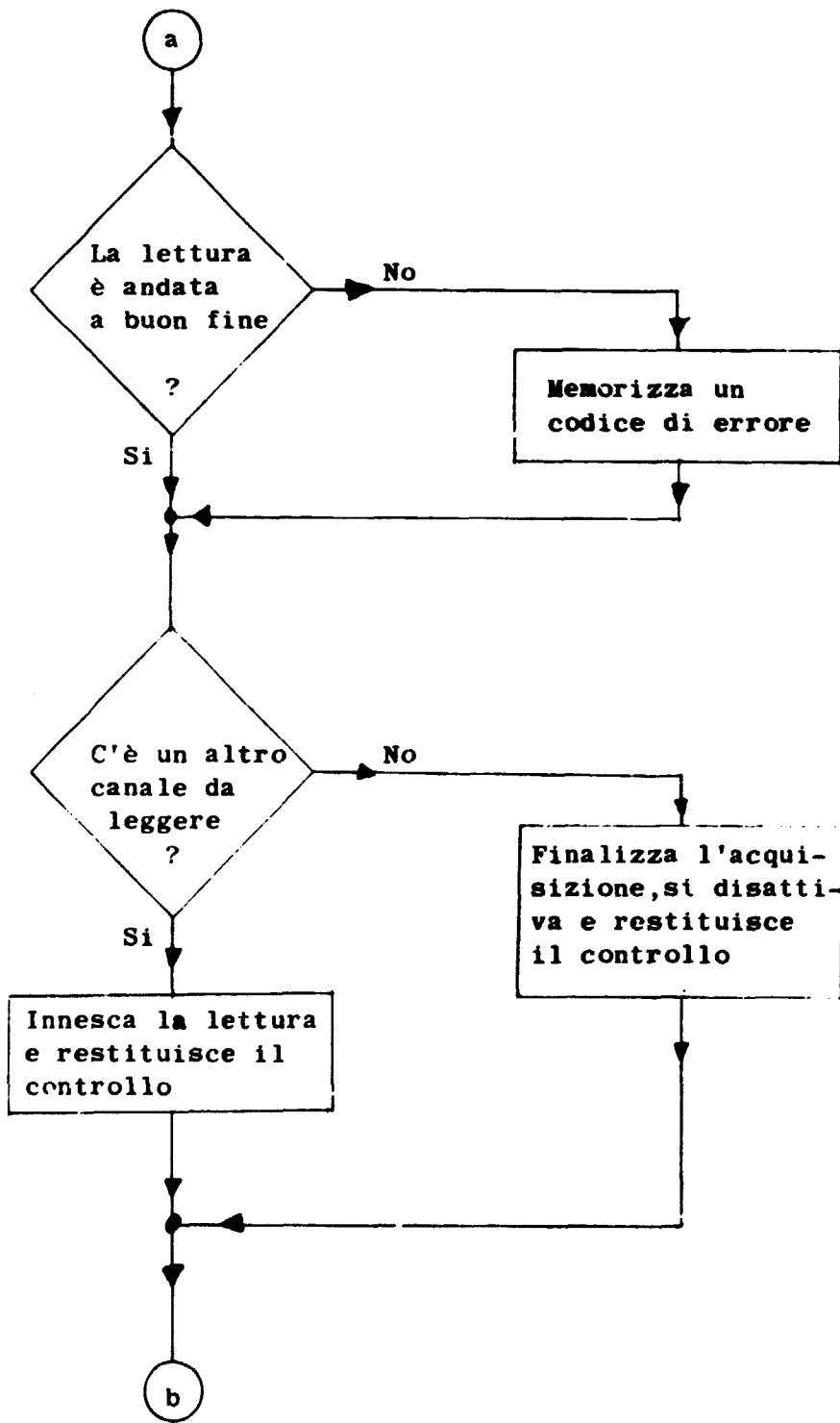


Fig. 2.6 (b)

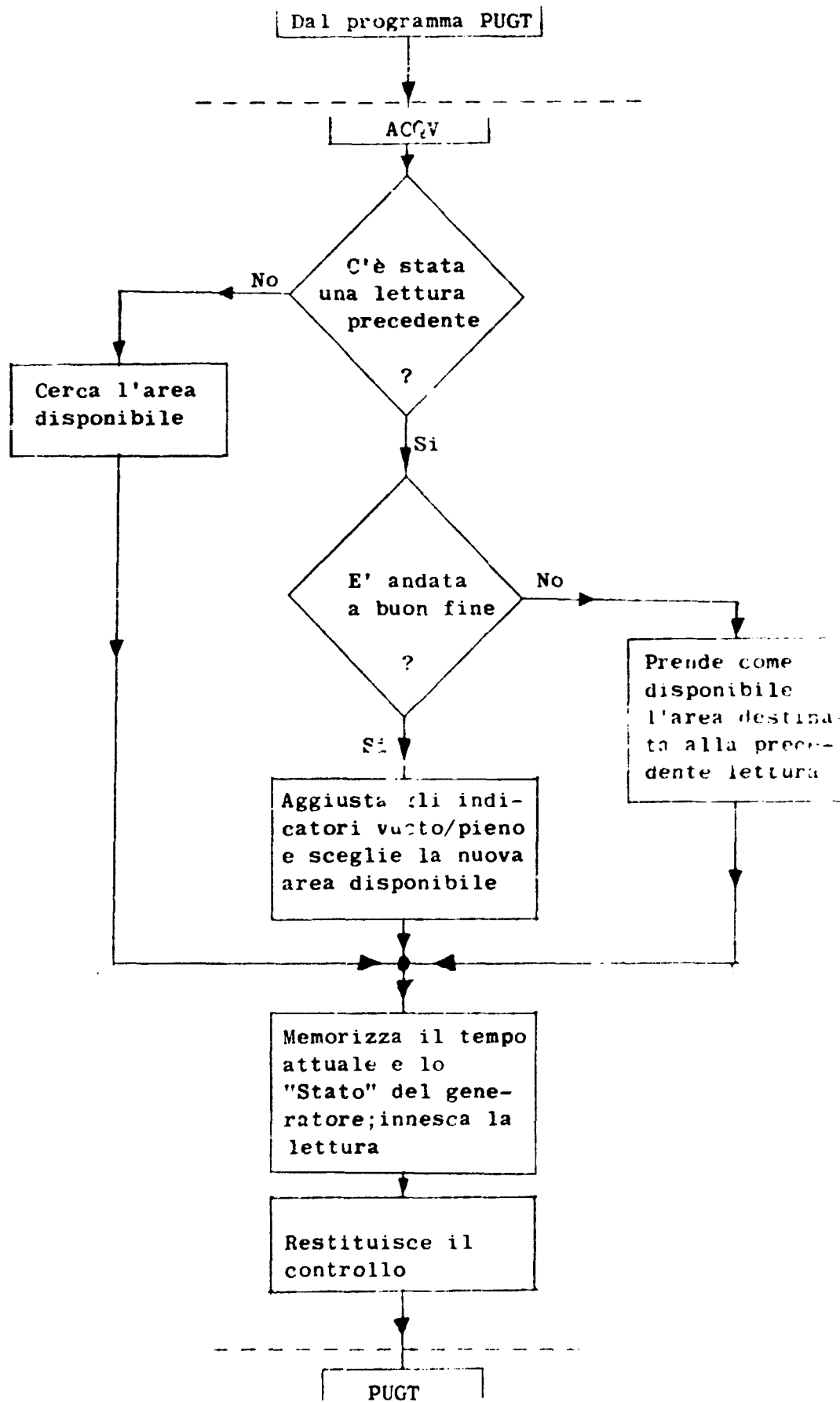


Fig. 2.7

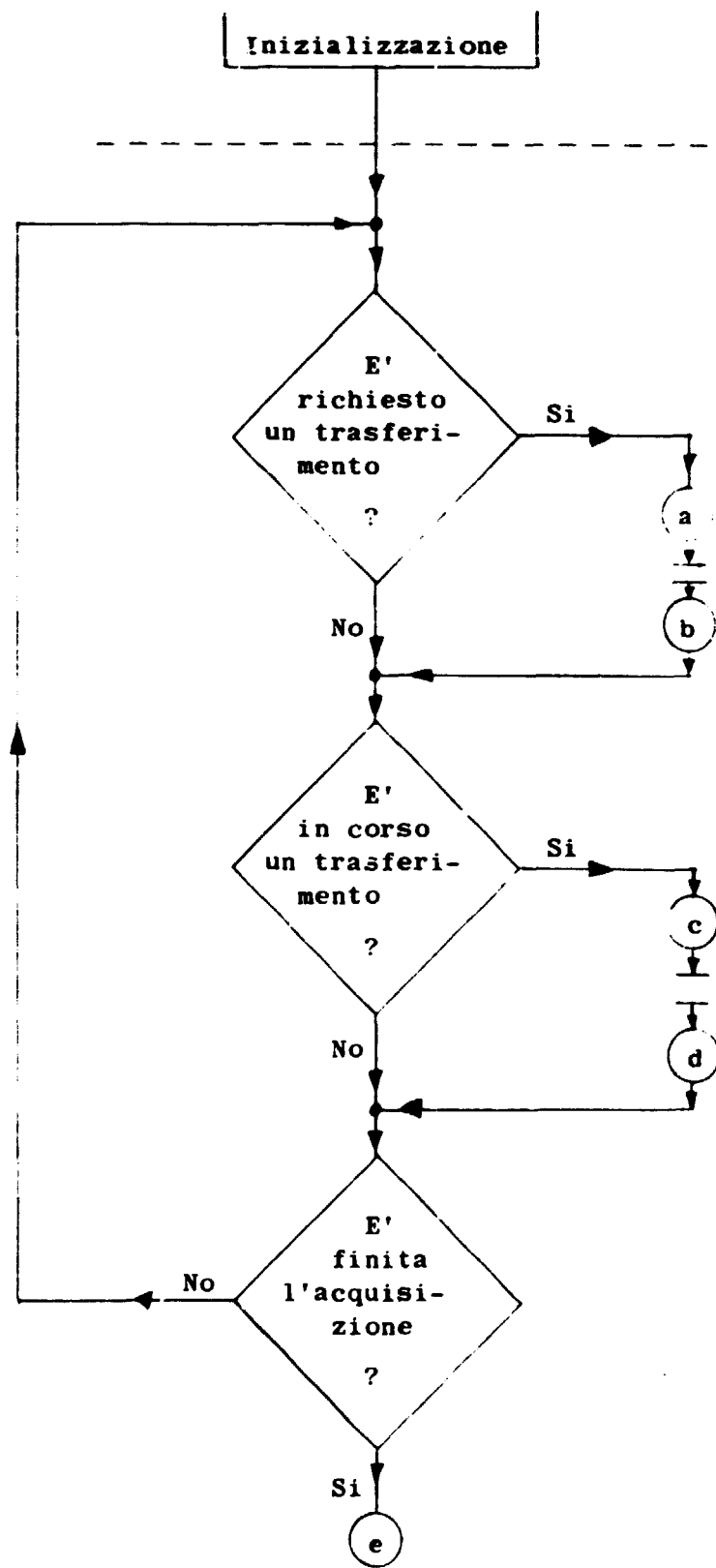


Fig. 2.8 (a)

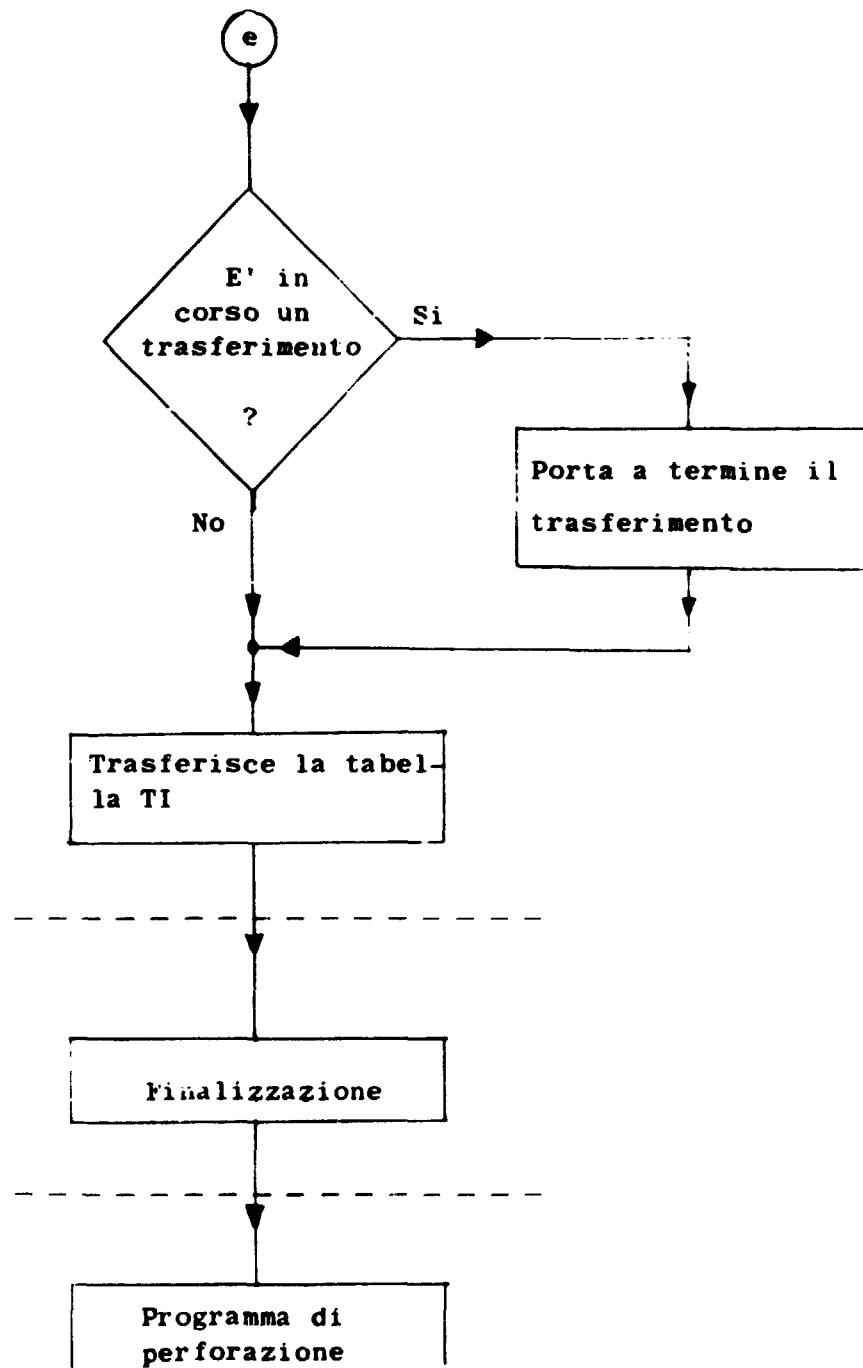


Fig. 2.8 (b)

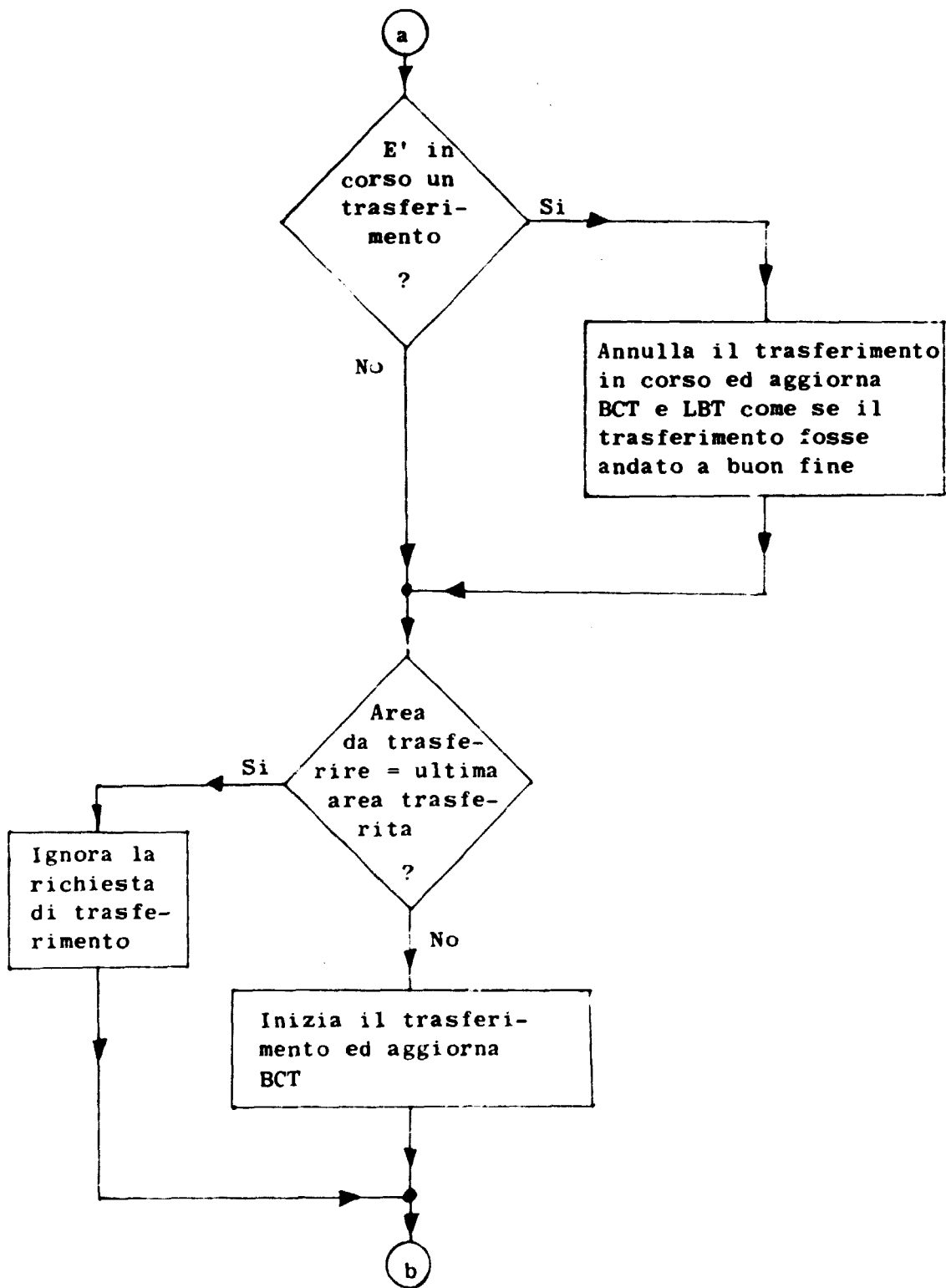


Fig. 2.8 (c)

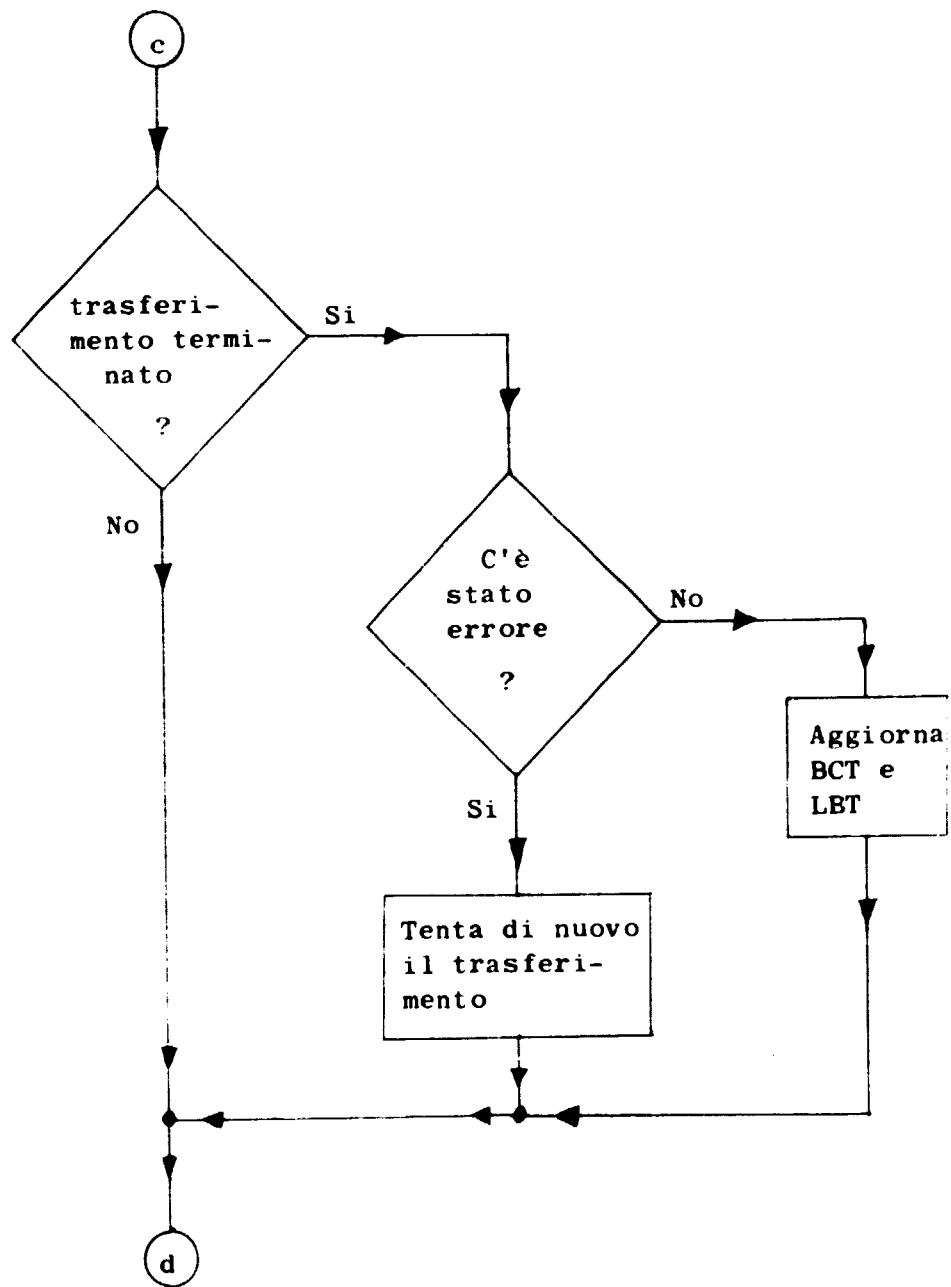


Fig. 2.8 (d)

