



*Progettare e programmare
la "macchina ridotta"
(1955-1958)*

Come fummo coinvolti

(cenno storico-biografico)

Tutto comincia nel 1954, quando il progetto di costruire a Pisa un sincrotrone tramonta, perché viene scelta la sede di Frascati.

Rimane a disposizione dell'Università di Pisa un finanziamento (150 milioni) degli Enti locali, e si accende la discussione su che cosa farne.

Conversi e Salvini consultano dei colleghi e incontrano Fermi a Varenna, alla sua ultima visita in Italia: così nasce l'idea di costruire un calcolatore.

Va ricordato che Fermi, dopo l'impegno nel “progetto Manhattan” (primo reattore nucleare, bomba “atomica”) era tornato a fare il fisico sperimentale, ed aveva già fatto uso di uno dei primi calcolatori costruiti in USA.

I calcolatori nel mondo, nel 1954

Si può stimare che i calcolatori di media o grande potenza, per uso scientifico, ammontassero in totale ad almeno 100.

Ne erano stati costruiti in Inghilterra, Olanda, Germania, Svezia (oltre che in USA).

Erano in gran parte esemplari singoli, oppure varianti di altri.

Di regola erano stati progettati in università o centri di ricerca.

È interessante osservare che a quel tempo le caratteristiche di un calcolatore erano spesso oggetto di pubblicazione sulle riviste tecniche. Erano quindi pubbliche: non esisteva segreto industriale.

Non esisteva nessuna standardizzazione; i concetti base dell'informatica non erano ancora nati (a parte quelli più astratti, come la “macchina di Turing”).

L'elettronica era basata sui tubi elettronici, ma presto sarebbero diventati commerciali i primi transistor.

Per la memoria (RAM) venivano sperimentate le soluzioni più diverse: tubi a mercurio per ultrasuoni, tubi RC, anellini magnetici ... (le memorie a circuiti integrati erano di là da venire, almeno 20 anni).

Le prime riunioni

Il 17 novembre 1954 si tiene a Roma, all'Istituto di Fisica, una prima riunione per esaminare utilità e fattibilità della costruzione di un CE.

Alla riunione partecipano 14 tra fisici, matematici e ingegneri, con prevalenza di fisici. La conclusione è largamente favorevole al progetto, di cui si sottolinea il valore scientifico e culturale.

Dato però che nessuno sa valutare davvero rischi, costi, fattibilità, si dà incarico a Caracciolo (presente) di preparare una relazione che possa costituire la base di una decisione più meditata.

Nella riunione viene anche segnalata la disponibilità di altri (tra cui il sottoscritto) a partecipare al seguito delle discussioni.

Perché i fisici?

Ci sono varie ragioni.

La più ovvia è forse una maggiore apertura verso l'impiego pratico di strumenti avanzati.

Una seconda è meno nota: i fisici avevano da tempo una certa familiarità con l'elettronica digitale, che veniva (in forma certo assai primitiva) impiegata negli esperimenti coi raggi cosmici.

Dall'annuncio della morte di Bruno Rossi (21-11-93) nel sito MIT:

Dr. Rossi began working on cosmic rays in 1929 when only a few scientists were interested in the subject. In that year he invented the first electronic circuit for recording the simultaneous occurrence of three or more electrical pulses.

This circuit, widely known as the "Rossi coincidence circuit," proved not only to be one of the fundamental electronic devices for experimental high energy nuclear physics, but also to be a basic element of modern computers.

Ricordo personale: quando ero studente (fine anni '40), il “circuito di coincidenza di Rossi” e le sue applicazioni per lo studio dei raggi cosmici erano parte del programma d'esame di Laboratorio III.

Riunione a Pisa

Il 13 e 14 gennaio 1955 ha luogo una lunga riunione a Pisa, per discutere la relazione Caracciolo, la fattibilità del progetto e gli eventuali passi da intraprendere.

Alla riunione partecipano: il rettore prof. Avanzi, professori di Ingegneria, Matematica e Fisica dell'Un. di Pisa, più numerosi invitati di altre sedi (tutti fisici) tra i quali Caracciolo, Fabri, Sibani (Roma).

Emerge un parere largamente favorevole da parte di matematici e fisici, mentre ampie riserve di vario tipo vengono avanzate da Ingegneria.

L'unica decisione operativa è un ciclo di lezioni sui CE, per i quali si fanno nomi di docenti. A quanto posso ricordare, furono realmente tenute lezioni da Caracciolo e Fabri.

Nascita del CSCE e prime attività

Nella “Relazione sull’attività del Centro al 20 dicembre 1955” si legge che il CSCE nacque ufficialmente con una delibera del Consiglio di Amministrazione, il 30 aprile 1955. Tuttavia:

Studi preliminari sul progetto strutturale furono iniziati sin dal gennaio scorso da un gruppo di fisici dell’Università di Roma [Caracciolo, Fabri, Sibani] passati successivamente alle dipendenze del Centro; sicché all’atto di costituzione di questo, nel giugno scorso, i lavori partirono da un primo progetto strutturale già elaborato.

Segue una sommaria descrizione delle caratteristiche logiche ed elettroniche della futura CEP, molto vicine a quelle della macchina poi realizzata.

C'è poi un piano temporale dettagliato, nel quale è prevista per il primo biennio (gennaio '56 – dicembre '57) la “realizzazione completa e funzionamento del nucleo centrale della macchina”.

Più oltre:

*Secondo questo piano, il Centro verrebbe a essere dotato di una **macchina già funzionante, sebbene con capacità ridotta, entro i primi due anni; ciò permetterebbe di utilizzarla, sia pure in via sperimentale, a partire dal gennaio 1958 per applicazioni varie.***

È questo l'atto di nascita della “macchina ridotta”, di cui sono chiaramente delineati caratteri e scopo.

Progettare la CEP

Come si è visto, Caracciolo Sibani ed io ci mettemmo al lavoro prima della costituzione ufficiale del CSCE, quando ancora vivevamo a Roma.

Sapevamo poco o niente di CE, come del resto tutti in Italia. Fra tutti e tre avevamo però un certo spettro di conoscenze di logica ed elettronica, anche digitale.

Dovevamo decidere allo stesso tempo l'organizzazione logica della macchina e le soluzioni elettroniche.

Organizzazione logica:

- tipo e lista delle istruzioni
- architettura generale:
 - dimensioni della memoria
 - numero e funzione dei registri
 - struttura del controllo
- tipo di comunicazione:
 - serie o parallelo
 - continua o impulsi

Soluzioni elettroniche:

- memoria
- registri
- reti logiche.

In un progetto del genere *non si può* procedere “top-down”: si rischia di costruire un progetto bello sulla carta, ma che poi risulta complicato, costoso o insicuro una volta tradotto in hardware.

Quindi si procedeva parallelamente sui diversi livelli di progetto.

Struttura della CEP (e della MR)

Organizzazione logica:

- istruzioni a un indirizzo (più complessa per la CEP, qui non ne parlo)
- memoria di 1024 parole, 18 bit
- due registri aritmetici (A e B), numeratore N, registro istruzioni R
- controllo a microistruzioni
- comunicazione in parallelo
- funzionamento in continua.

Soluzioni elettroniche:

- memoria a nuclei magnetici
- registri a tubi elettronici (flip-flop con linea di ritardo)
- reti logiche a diodi al germanio
(i livelli +10 V e -10 V rappresentano risp. “1” e “0”)
- controllo a matrice di diodi.

Funzionamento della MR

Nota: La MR ha avuto due versioni, che differiscono per la lista delle istruzioni, per il quadro comandi e per alcuni altri aspetti. Tuttavia le differenze non sono essenziali ai fini di comprendere il funzionamento; qui viene descritta la prima versione, solo perché meglio documentata.

Sorvolando su alcuni dettagli e semplificando, nel corso del funzionamento automatico la macchina percorre un ciclo, determinato dal *temporizzatore* **T** attraverso 3 impulsi, denominati ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 sullo schema.

Gli intervalli fra i 3 impulsi sono limitati inferiormente dal tempo richiesto per la stabilizzazione di tutti i circuiti e quindi di tutte le linee che li collegano (in continua). Non c'è invece un limite superiore.

Non ho trovato dati sull'effettiva durata del ciclo per la macchina funzionante, ma credo di poterla stimare in $15 \mu\text{s}$.

Come vedremo in seguito, l'esecuzione di un'istruzione comprende due cicli, quindi richiederebbe $30 \mu\text{s}$.

Nel progetto della MR venne scelto di proposito di limitare le istruzioni a quelle eseguibili nel modo più semplice, al fine di rendere quanto più semplice possibile il controllo.

Infatti ogni istruzione richiede due sole fasi: *entrata* ed *esecuzione*.

a) *entrata* (instruction fetch):

L'impulso ξ_1 causa una lettura della memoria **M** all'indirizzo presente in **N**. Il contenuto della cella corrispondente appare all'uscita di **M** e quindi all'ingresso di diversi altri componenti della macchina.

L'impulso ξ_2 provoca la scrittura dell'istruzione nel registro **R**, l'incremento del contenuto di **N**, la riscrittura della memoria.

L'impulso ξ_3 commuta il “toggle” **SF**, il che fa passare alla seconda fase.

b) *esecuzione*:

Questa è diversa per ogni diversa istruzione, ma il principio è lo stesso per tutte.

Prendiamo ad es. l'istruzione A+M, che scrive in **M**, al dato indirizzo, la somma del contenuto del registro **A** e di quella stessa cella di memoria.

L'impulso ξ_1 legge la memoria: il contenuto della cella letta arriva in parecchi punti: **IV**, **KM**, **KmR**, **Cb**.

IV lo fa vedere sul quadro di comando; **Cb** lo presenta a uno degli ingressi di **Ad** (addizionatore); gli altri non hanno effetto.

All'altro ingresso di **Ad** è presente (attraverso **KU**, **Cb**) il contenuto di **A**, e quindi all'uscita di **Ad** si ha la somma voluta.

L'uscita di **Ad** va a **KA**, **KB**, **KM**: di questi solo **KM** lo presenta all'uscita.

L'impulso ξ_2 provoca la scrittura in memoria della somma voluta.

Con ciò l'esecuzione è terminata, e l'impulso ξ_3 dà inizio alla successiva fase di entrata.

Come viene attuato tutto questo?

È compito del *controllo*: abbiamo già detto che in questa macchina (come poi nella CEP) il controllo lavora per “microistruzioni”.

Le microistruzioni

Data la semplicità delle istruzioni, le microistruzioni sono poche: una per la fase di entrata e una per la fase di esecuzione di ciascuna istruzione, quindi per un massimo di 33.

La selezione della microistruzione da eseguire è affidata al decodificatore **DC**, che produce uno “0” su tutte le 33 linee di uscita eccetto una, in funzione del dato presente su 6 linee di entrata.

Una linea proviene da **SF**, e distingue la fase; le altre 5 provengono da **R**, e corrispondono al codice dell’istruzione da eseguire.

Il selettore dei segnali

Le 33 uscite di **DC** formano altrettante colonne della matrice di **SS**.

Le righe della matrice corrispondono a tutte le linee che portano *impulsi* o *segnali* alle parti della macchina.

Ad es. se l'uscita della riga 24 è a "1", gli impulsi ξ_1 e ξ_2 dal temporizzatore arrivano alla memoria, che viene letta e poi scritta. Si può verificare dallo schema SS/L/1 o dalla tabella SS/T/1 per quali istruzioni ciò accade.

Dato che la matrice SS era realizzata con diodi dotati di terminali rigidi, era semplice la modifica, ove richiesta.

Ad es. l'istruzione A+M poteva divenire B+M semplicemente montando un diodo in corrispondenza della riga 13 (segnale per il commutatore **KU**) e della colonna 4 (codice dell'istruzione A+M).

Programmare la MR

Tra la metà del 1957 e la fine del 1958 la MR è stata usata come un vero calcolatore:

- per esercizi e studi sulle tecniche di programmazione
- per programmi di prova e diagnostici
- per ricerche sui suoi limiti d'impiego
- ma anche per problemi di reale interesse scientifico.

Ecco alcuni esempi.

Studio di strutture di cristalli

Il lavoro venne proposto da ricercatori dell'Istituto di Mineralogia e Geologia, e consisteva nel calcolo di trasformate e antitrasformate di Fourier discrete.

Un caso che richiedeva circa 6×10^5 moltiplicazioni impegnò la macchina per un'ora circa, di cui 1/3 spesa per la stampa dei risultati (telescrivente, 7 caratteri al secondo).

Analisi periodale di frequenze critiche ionosferiche

Lavoro proposto da ricercatori dell'Istituto di Geofisica dell'Univ. di Roma. Consisteva nella ricerca di periodicità (12 ore, 24 ore, altre) nelle variazioni delle frequenze limite di riflessione di onde e.m. dalla ionosfera.

La principale difficoltà stava nella gran quantità di dati: 25000 in entrata, 80000 in uscita. Di fatto il tempo di calcolo era trascurabile rispetto a quello di stampa: circa 60 ore-macchina.

Una seconda parte del lavoro riguardò la ricerca di correlazioni con l'attività solare. Qui la massa di dati era enorme: il nastro passato per il lettore fotoelettrico fu stimato in chilometri.

Determinazione esatta delle autofunzioni del momento angolare di più elettroni

Questo lavoro fu proposto da E. Abate, che prese anche parte alla sua elaborazione, come programmatrice distaccata dalla Sez. INFN di Milano.

Non posso darne una spiegazione in poche parole; mi limito a dire che l'interesse del calcolo stava nel suo carattere "non numerico".

Infatti i numeri da elaborare erano razionali o radici quadrate di razionali, e si desiderava avere una rappresentazione *esatta* dei risultati.

Si dovette quindi studiare una tecnica per i calcoli aritmetici fra numeri del tipo descritto.

La MR produsse i risultati in alcune ore, ma il tempo di programmazione fu di quasi due mesi.

Commento

Non è forse male ricordare che per la programmazione della MR non era disponibile altro che il linguaggio-macchina.

I programmi venivano introdotti mediante nastro perforato, che doveva essere battuto a mano e controllato “a vista”.

Tuttavia risultò possibile impiegare la MR anche per applicazioni non banali, certamente impossibili con i mezzi di calcolo tradizionali.