

# L'informatica al Politecnico di Milano

Da: Luigi Dadda: "Il primo calcolatore del Politecnico di Milano nel 1954", in Luigi Dadda: "La nascita dell'informatica in Italia", POLIPRESS, Milano 2006.

## 1. Introduzione

La messa in funzione del calcolatore al Politecnico di Milano, avvenuta nell'ottobre 1954, è stato l'episodio più rilevante di un processo che lo ha generato e insieme la causa di numerose importanti conseguenze sullo stato del calcolo scientifico e tecnologico nel nostro paese.

E' parso opportuno invitare qui gli esponenti delle altre tre iniziative che quasi contemporaneamente sono sorte in Italia nel campo del calcolo elettronico, e che mostrano come le condizioni perché ciò avvenisse sono maturate sia pure con motivazioni diverse. Si tratta dell'Istituto Nazionale per le Applicazioni del Calcolo, delle iniziative sorte nell'Università di Pisa e, nel campo industriale, quelle della società Olivetti.

Quanto segue espone una ricostruzione storica non tanto dei singoli eventi quanto della radicale trasformazione del calcolo scientifico e tecnologico che è stata all'origine della informatica quale oggi noi viviamo, nonché di quella che viene denominata "tecnologia dell'informazione e della comunicazione".

## 2. Calcolo scientifico e tecnologico nell'immediato dopoguerra, attività in sede nazionale e locale

E' ben noto come l'Italia non vanti in questo campo primati significativi, come invece può ben fare nel campo delle telecomunicazioni (con Guglielmo Marconi), oltre che nella tecnologia elettrica in generale (con Alessandro Volta). Si può ricordare il veneziano Giovanni Poleni (1683-1761) che disegnò una "macchina aritmetica" (un esemplare ricostruito nel 1959 è al Museo nazionale della scienza e della tecnologia Leonardo da Vinci di Milano), nonché il legame tra il generale Luigi Federico Menabrea (autore del celebre teorema di scienza delle costruzioni, fu anche Primo ministro) e colui che può a ragione considerarsi il precursore degli elaboratori elettronici programmabili, l'inglese Charles Babbage. Menabrea, infatti, descrisse l'invenzione di Babbage con tanta chiarezza che il suo scritto, del 1842, in cui tra l'altro egli si occupava dei programmi (come oggi li chiameremmo) per la soluzione di vari problemi, venne tradotto in inglese (dalla contessa di Lovelace, figlia di Lord Byron, che aggiunse note e commenti) e largamente diffuso nella stessa Inghilterra.

Si può inoltre rammentare che il bisogno di applicare metodi matematici tramite il calcolo numerico fu molto sentito nella prima metà del secolo, tanto da dare origine a varie e importanti iniziative anche di ricerca: basterà ricordare l'opera del prof. Mauro Picone, che ben a ragione può considerarsi un pioniere del calcolo numerico con la fondazione nel 1927 dell'*Istituto Nazionale per le applicazioni del calcolo* (INAC). La sua attività ha prodotto una schiera di validi ricercatori e docenti, che hanno sviluppato originali ricerche sui metodi di calcolo numerico, applicandole a importanti problemi concreti, e che hanno contribuito a diffondere nelle università gli insegnamenti riguardanti le matematiche applicate e il calcolo numerico.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Può essere interessante riportare il giudizio espresso (nel 1951) da Hermann Goldstine (noto scienziato americano e collaboratore di John von Neumann) nella relazione con cui proponeva Roma come sede per il Centro Internazionale di Calcolo, progettato dall'Unesco: "Esaminando le diverse pubblicazioni dell'Inac, si resta sorpresi per la vastità di

Va ricordato a tale proposito come la scuola matematica italiana, eccellente nel campo delle matematiche pure, abbia scarsamente considerato le matematiche applicate (a differenza di quanto avvenuto negli altri paesi scientificamente avanzati).

Mi piace in particolare ricordare l'opera del prof. Aldo Ghizzetti, che insegnò a tutti i ricercatori italiani la trasformata di Laplace tramite un suo diffusissimo testo. Ricordo anche il magistero del prof. Enrico Persico, dell'Università di Roma, e in particolare il suo testo di fisica matematica.

Rapporti tra il prof. Picone e il prof. Ercole Bottani, del Politecnico di Milano, avvennero negli anni trenta. Bottani (mio principale maestro) infatti svolse ricerche atte a esplorare la possibilità di costruire reti elettriche rette da sistemi di equazioni lineari assegnate. Bottani provò che i sistemi di equazioni in una rete elettrica non sono sistemi generali e che perciò non è sempre possibile costruire una rete elettrica per un sistema assegnato.<sup>2</sup>

Bottani fu molto attivo nel propugnare l'impiego delle matematiche anche avanzate nella soluzione di problemi ingegneristici. Egli, tra l'altro, diffuse in Italia il metodo delle "componenti simmetriche" per la trattazione dei sistemi trifasi e quello del calcolo operativo, proposto da Heaviside (in USA), per la trattazione dei transitori nelle reti elettriche

### 3. Metodi Matematici

E' noto che la soluzione di qualsiasi problema ingegneristico richiede un intelligente impiego di metodi matematici spesso di difficile applicazione. Una larga serie di problemi si lascia facilmente rappresentare con sistemi di equazioni lineari, concettualmente di facile soluzione, e che un

---

indirizzi che la direzione accorda alle ricerche matematiche, e si rimane impressionati dall'ampiezza dei calcoli eseguiti e dall'elevatezza delle analisi matematiche che essi hanno comportato". La proposta di Goldstine fu fatta propria dall'Unesco. Il prof. Aldo Ghizzetti (INAC) ne fu il primo presidente. Il Centro di Calcoli numerici del Politecnico venne nel 1958 nominato corrispondente del Centro internazionale di Calcolo

Tale Centro, a cui la Olivetti donò una macchina ELEA 6001, era dotato di una bella sede all'EUR. Suscitò inizialmente grande interesse. La prima seduta del Comitato direttivo, di cui feci parte, si concluse con un ricevimento al Quirinale: il Presidente Saragat ci rivelò di essere stato Assistente Universitario di matematica in Francia, durante il suo esilio politico: di qui il suo interesse al calcolo automatico. Il Centro aveva la missione di fornire potenza di calcolo ai numerosi paesi privi di calcolatori (un retaggio, credo, dell'epoca in cui era stato concepito, nella quale si pensava che 4 o 5 macchine avrebbero potuto soddisfare i bisogni di calcolo di tutto il mondo e che pertanto il problema non poteva considerarsi importatnte per una industria, soprattutto della taglia di IBM (sic!)). Un progetto di grande importanza e studiato accuratamente attribuiva al Centro il compito delle elaborazioni relative al primo censimento progettato per l'India. Mi fu facile mostrare che il vero problema era quello di distribuire un numero sterminato di perforatori di schede, di raccoglierle e trasportarle fino a Roma. Come? Occorreva almeno una nave. Dove avremmo messe le schede, per poterle elaborare? Si concluse che la cosa migliore sarebbe stata quella di donare all'India un calcolatore! Di fatto, non se ne fece niente.

<sup>2</sup> Nel 1951 Bottani mi sottopose lo stesso problema, consegnandomi anche un sistema lineare di 9 equazioni datogli negli anni trenta da Picone. Proposi un metodo basato sulla ricerca sperimentale della soluzione col metodo dei minimi quadrati, ove i "residui" delle equazioni erano rappresentati da correnti elettriche, trovando poi la soluzione con la modifica ciclica delle variabili (rappresentate da tensioni elettriche variabili con reostati). Introducemmo nel metodo due innovazioni, l'una consistente nella sostituzione degli elementi destinati a creare il quadrato delle variabili, con semplici diodi; l'altra mostrando come le successive cifre decimali esprimenti le incognite potessero essere trovate con la ripetizione del procedimento tramite la stessa rete di resistori rappresentanti i coefficienti. Quando ci fu chiaro che le nuove macchine a programma, che stavamo intensamente studiando con le informatiche ci giungevano dagli USA, rappresentavano la soluzione di tutti i problemi numerici tramite la programmabilità, interrompemmo la ricerca.

altrettanto vasto insieme di problemi si basa sulla determinazione di campi di varia natura matematica, come le equazioni di Laplace per campi di tipo elettrico, o magnetico, o termico, o di diffusione, ecc. ed altri (di tipo fluidico) sulle molto più complesse equazioni di Stokes.

L'arte dell'ingegnere consiste nel "modellare" il problema con l'uso di sistemi di equazioni la cui soluzione dia risultati sufficientemente precisi, ottenibili con i mezzi di calcolo disponibili.

Furono tuttavia frequenti i casi nei quali i problemi risultavano insolubili per la impossibilità di risolverne numericamente le equazioni. Si ricorse allora ai *modelli in scala* oppure ai *modelli analogici*. Un esempio per i primi è dato dalle grandi costruzioni e dalle opere idrauliche (laboratori per tali problemi furono attivi al Politecnico di Milano fino a poco meno di mezzo secolo fa). Un caso particolare è costituito dalle *gallerie del vento* per i problemi aerodinamici: una modernissima galleria del vento è stata costruita al Politecnico recentemente.

I modelli analogici si basano sul fatto che lo stesso sistema di equazioni vale per sistemi fisici di natura diversa. E' perciò possibile costruire un sistema, per es. elettrico, retto dalle stesse equazioni di un sistema di altra natura, per es. termico. Si dice allora che i due sistemi sono "analoghi". Le misure fatte sul primo permettono di conoscere il valore delle corrispondenti grandezze termiche. Sono stati spesso usati modelli analogici elettrici perché le misure di grandezze elettriche sono generalmente più facili e più precise di quelle di altre grandezze.

#### **4. Fondazione CNR Politecnico Milano**

Nel 1945 Ercole Bottani fonda al Politecnico di Milano un Centro di Studio CNR sui Modelli elettrici, affrontando due classi di problemi: lo studio del comportamento delle grandi reti elettriche (con modelli elettrici composti da reti equivalenti costruibili in laboratorio) e quello dei sistemi fisici retti dall'equazione di Laplace (campi "armonici"), con modelli analogici elettrici (vasca elettrolitica).

Laureatomi nel 1947 fui assunto come assistente dal prof. Bottani, che mi affidò lo sviluppo di questo settore. Costruii una vasca elettrolitica e vi eseguii numerosi esperimenti. Il tema mi portò a stabilire rapporti con esperti nei più vari settori, sia nel Politecnico sia in altri centri: Istituto Elettrotecnico Nazionale di Torino, un professore che a Pisa si occupava di aerodinamica, l'istituto di idraulica dell'Università di Grenoble che eseguiva ricerche sui moti di filtrazione nei mezzi porosi (applicate alle grandi dighe), ecc. Nel 1950 mi venne assegnata una borsa di studio del governo francese per poter trascorrere un periodo di studio presso l'Istituto di Grenoble.

Problemi relativi al calcolo dei campi armonici vennero affrontati in quegli anni dalla società Pirelli, per la progettazione dei "passanti" per i cavi a corrente continua e ad altissima tensione (sui quali Pirelli detiene un insieme di brevetti relativi ai cavi del tipo "a olio fluido", ancor oggi usati universalmente). Tali campi, a simmetria assiale, male si prestano alla costruzione di modelli elettrolitici, a causa della disuniformità dovuta all'uso di diversi materiali dielettrici. La Pirelli affrontò il problema con metodi numerici approssimati, intesi a risolvere il sistema di molte (anche migliaia) equazioni lineari ricavate tramite l'espressione in termini finiti dell'equazione di Laplace. Presso il Politecnico svilupparammo il progetto di una rete di resistori atto a risolvere il problema per via sperimentale e fummo indotti ad apprendere e applicare i cosiddetti metodi numerici "di rilascio" (applicati alla Pirelli tramite una squadra di numerosi operatori muniti di calcolatrici meccaniche).

Nel 1951-53 fu costituito a Pisa un gruppo incaricato del progetto del primo elettrosincrotrone italiano, con un fondo raccolto tra gli enti locali e l'Università. Chi scrive venne chiamato a farne parte col compito di studiare il traferro degli elettromagneti della macchina. Venne allo scopo anche assegnato un giovane ingegnere, Ferdinando Amman (oggi professore di fisica a Pavia). La stabilità delle traiettorie elettroniche richiedeva che la derivata seconda del potenziale magnetico non superasse un prescritto valore. Il problema fu risolto tramite modello nella vasca elettrolitica. Fu questa l'applicazione della vasca elettrolitica più avanzata che sia mai stata fatta, a conoscenza dello scrivente. Non si ebbe neppure la possibilità di pensare all'applicazione di tecniche numeriche: il calcolatore non era ancora disponibile e, con l'esperienza che in seguito acquisimmo nella valutazione delle derivate prime, si può certo dire che avremmo esplorato la loro applicazione, ma che con ogni probabilità saremmo ricorsi ancora alla vasca elettrolitica.

Un ulteriore importante problema di calcolo fu quello relativo ai metodi "fotogrammetrici" studiati presso l'Istituto di Topografia e Fotogrammetria diretto dal prof. Gino Cassinis ( Rettore del Politecnico oltre che sindaco di Milano, già professore a Pisa e autore, tra l'altro, di un testo sui "Calcoli numerici, grafici e meccanici").

La Fotogrammetria permette di ricavare carte topografiche da fotografie aeree, tramite complessi calcoli numerici.

## 5. Iniziative internazionali

Nessuna esperienza si ebbe in Italia sui nuovi calcolatori elettronici sviluppati in USA e in Inghilterra. E' tuttavia interessante che vi sia sviluppata una tecnologia degli impulsi elettrici per comunicazioni elettriche, a opera del prof. Francesco Vecchiacchi, direttore dell'Istituto di Comunicazioni elettriche del Politecnico di Milano. Egli progettò un ponte radio di nuovo tipo (per connettere Milano con Roma) basato su impulsi modulati in ampiezza. Egli è tra l'altro riconosciuto internazionalmente per avere per primo sviluppato la teoria del multivibratore, alla base dei circuiti elettronici per la generazione e la manipolazione di impulsi.<sup>3</sup> Si dà il caso che chi scrive si sia laureato al Politecnico di Milano con una tesi sul progetto di un ponte radio tra Torino e Venezia, basato su impulsi modulati in posizione, con lo sviluppo di una parte sperimentale.

Le notizie sui progressi compiuti negli USA durante il periodo bellico riguardarono, per primo, il radar, cioè uno degli strumenti che permisero la vittoria agli alleati. In seguito giunsero anche le notizie sui calcolatori elettronici, sviluppati anch'essi nel periodo bellico. Un'attività rilevante si sviluppò in Gran Bretagna, tutta rivolta alla decrittazione dei messaggi tedeschi crittati con la macchina *Enigma*, tramite il calcolatore specializzato *Colossus*. In Germania Konrad Zuse costruì una macchina speciale per la soluzione di sistemi di equazioni lineari, scarsamente considerata dalle autorità militari, che non ne capirono l'importanza e che preferirono spedire Zuse al fronte.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Si può anche ricordare che il fisico Bruno Rossi utilizzò per primo un circuito logico elettronico in un'apparecchiatura per esperienze sui raggi cosmici (a Firenze, 1930). Si può anche ricordare che Emilio Gatti costruì nel 1951 presso il CISE (Centro Internazionale Studi ed Esperienze, fondato nel 1946 dal prof. Giuseppe Bolla) un analizzatore di impulsi per esperienze di fisica nucleare con largo impiego di tecniche impulsive. Ciò per citare le esperienze italiane in settori tecnologicamente vicini a quello dei calcolatori elettronici veri e propri.

<sup>4</sup> Sul finire della guerra Zuse, con l'aiuto del compagno di studi Werner Von Braun, trasportò il calcolatore (che aveva costruito a casa sua a Berlino, prima in Baviera e poi presso il Politecnico di Zurigo con l'aiuto del prof. Bauknet. Von Braun fu subito spedito in USA per la sua preziosa esperienza missilistica (con le V1 e le V2 tedesche), mentre le conoscenze di Zuse furono probabilmente non capite dagli alleati.

Molto più vasta fu l'attività sviluppata negli USA dove, dopo una serie di macchine di tipo elettromeccanico, venne costruito subito dopo la fine del conflitto, l'*ENIAC*, un calcolatore elettronico che ne simulava uno elettromeccanico e che usava ben 18.000 tubi elettronici.

Subito dopo negli USA e in *Gran Bretagna* si costruirono i primi calcolatori a programma registrato (*EDSAC* e *EDVAC*). Di queste attività si ebbero notizie nei primi anni cinquanta.

Può essere interessante, per descrivere anche il "clima" culturale nel quale nacquero le iniziative universitarie di Milano, di Roma e di Pisa, nonché quella di Ivrea in quanto sede della Olivetti (che sviluppò in seguito le attività industriali informatiche), ricordare che nei primi anni cinquanta ebbe grande risonanza anche pubblica, la "cibernetica". Una delle proposte più pittoresche venne formulata dal prof. Ceccato (Università di Milano) e concerneva la possibilità di costruire il modello di un essere umano, chiamato appunto "Adamo I". Un'altra proposta in cui si tentò anche di coinvolgermi fu quella di costruire una macchina capace di descrivere una scena, cioè il "cronista automatico". Il progetto era molto dettagliato: un teatrino con alcuni solidi di varia forma, due microfoni, due telecamere e un braccio meccanico per manipolare la scena. Il tutto con delle linee convergenti in una scatola chiamata "organo coscienzoneale": quest'ultimo era quello che mi era stato assegnato. Declinai, nel modo più cortese che mi riuscì possibile, l'invito.

Un'altra iniziativa rilevante anche in ambito internazionale fu concentrata su un problema molto specifico e certo anche molto importante: la traduzione automatica di testi dal russo all'inglese. Su tale tema fu molto attivo il prof. Ceccato. Perché quella specifica coppia di lingue? Perché era l'unica per la quale il Pentagono era disposto a finanziare ricerche (spesso senza troppo riguardo al fondamento scientifico). Finché, nel 1967, il programma venne in USA di colpo azzerato, ma non in Europa: a Ispra nel Centro Comunitario di Ricerca si continuò a studiare il problema, definendo i campi tecnologici dei testi da tradurre (furono scelti il nucleare e l'elettronica), e mirando piuttosto a una "computer aided translation" piuttosto che a una traduzione totalmente automatica. Queste scelte si rivelarono fruttuose.

Un compito che mi impegnò alquanto fu invece quello proposto dal gesuita Padre Roberto Busa, che aveva iniziato il progetto dell'*Index Thomisticus* lanciato da papa Leone XIII. L'opera richiedeva di compiere una complessa analisi delle singole parole dei testi per ricavarne dati e statistiche importanti per vari scopi, come quello di stabilire l'autenticità dell'autore. Busa capì subito che non vi era altra via percorribile se non quella di affidarsi alle macchine. All'epoca, le uniche macchine disponibili erano quelle a schede perforate. Di qui la necessità di ottenere il testo su scheda e il relativo pesantissimo lavoro allora eseguibile solo manualmente. Di qui anche la richiesta di Padre Busa: costruire una macchina che permettesse l'automatizzazione dell'operazione. Il compito era di enorme interesse. Esplorammo la letteratura in proposito (il tema venne studiato dal neo laureato Renato Stefanelli, poi professore al Politecnico, e, successivamente da Marco Somalvico, a capo del gruppo che si dedicò ai difficili temi dell'intelligenza artificiale) e concludemmo che, all'epoca, la tecnologia disponibile non permetteva alcuna soluzione. Il tema del "riconoscimento delle forme" (in particolare dei caratteri) rimase nel cassetto ma non dimenticato. Alcuni anni dopo fu proposto il *perceptron* (Rosenberg, USA, col quale stabilimmo contatti, ricevendo un corposo rapporto), con scarso successo. Oggi, com'è noto, il problema è soddisfacentemente risolto. Padre Roberto Busa SJ può considerarsi l'iniziatore di quella che successivamente venne chiamata linguistica computazionale.

Ricordo qui con grande stima anche un allora giovane Assistente di diritto dell'Università statale di Milano, Mario Losano, che pubblicò allora un testo sulla Storia degli automi (argomento che affascinò per secoli l'umanità) e si dedicò all'informatica giuridica.

## 6. Il Calcolatore del Politecnico di Milano

Tale essendo lo stato delle esperienze e dell'esigenza di disporre di nuovi mezzi di calcolo, vista dal Politecnico anche nel campo industriale, il Rettore Gino Cassinis (che già nel 1940 aveva progettato l'istituzione nel Politecnico di un Istituto di Calcoli numerici, sospesa a causa degli eventi bellici) prese, nel 1951 la decisione di richiedere un finanziamento per l'acquisizione di un calcolatore elettronico numerico sui fondi del "Piano Marshall, o ERP: European Recovery Program". La richiesta fu fatta, insieme ad altre, al Ministero della Pubblica Istruzione: "Nonostante considerassimo l'estrema difficoltà di raggiungere l'intento, abbiamo chiesto che ci venisse data, oltre agli altri strumenti, anche una calcolatrice elettronica. Devo dire che quando io ho avuto la sfacciataggine di fare questa richiesta ritenevo che le probabilità di raggiungere il risultato fossero nulle o quasi nulle.... Devo dire che successivamente attraverso il Ministero della Pubblica Istruzione e l'ARAR,<sup>5</sup> anch'essa compresa dell'importanza della richiesta, la Msa degli Stati Uniti, dopo alcuni scambi di idee al riguardo, si è immediatamente dichiarata favorevole". Chi scrive ne fu subito informato anche perché si trattò di operare la scelta della macchina tra quelle disponibili negli USA e, al Politecnico, ero il solo ad avere raccolto informazioni, nonché ad avere stabilito contatti e conoscenze con alcuni dei protagonisti. Avevo in particolare conosciuto bene il responsabile di un programma di ricerca specifico al National Bureau of Standards a Washington (dr. Alexander). Inoltre, ottenuta la libera docenza nel 1953, avevo chiesto e ottenuto dalla National Science Foundation una borsa di studio per trascorrere due anni presso il California Institute of Technology - CalTech. Cassinis mi chiese di occuparmi del problema soprattutto per la scelta della macchina. Non era a tutti ben chiaro che la macchina dovesse essere un calcolatore "general purpose" cioè a programma registrato in memoria insieme ai dati. Si aveva in particolare notizia di calcolatori specializzati a classi di problemi, in particolare ai sistemi di equazioni differenziali (DDA - Digital Differential Analyzer).<sup>6</sup> Anche sulla base di ulteriori informazioni inviate

---

<sup>5</sup> Si tratta dell'ente incaricato nell'immediato dopoguerra della gestione dei residui bellici. Suo tramite il Politecnico acquisì una notevole quantità di apparecchiature elettroniche. Chi scrive utilizzò per molti anni due oscilloscopi, uno dei quali di ottima qualità, nelle proprie ricerche e, successivamente all'installazione della calcolatrice, nella sua manutenzione.

<sup>6</sup> L'industria aeronautica americana aveva sviluppato tali macchine per lo studio dei complessi problemi di controllo incontrati nel progetto dei nuovi velivoli supersonici e dei missili. Due macchine di quel tipo (DDA) furono acquistate da università italiane, vedi Appendice E. L'invenzione dei DDA è dovuta a un gruppo di ingegneri della Northrop Aircraft di Los Angeles, che successivamente fondarono la Computer Research Corporation, costruttrice della CRC102A. Una esauriente esposizione storica si trova sulla rivista "IEEE Annals of the History of Computing" nell'articolo "West-Cost Contribution to the Development of the General-Purpose Computer: Building Maddida and the Founding of the Computer Research Corporation" (vol.25, n.1, 2003, pp.4-33) di D.E.Eckdahl, I.S. Reed, H.H. Sarkissian. Vi si apprende che nel 1946 la società Northrop Aircraft costituì un gruppo (di cui fecero parte gli Autori) per il progetto del sistema di guida di un missile, commissionato dalla US AirForce. Per tale scopo venne inventato il "digital differential analyzer" per la soluzione di sistemi di equazioni differenziali ordinarie, chiamato Maddida (MagneticDrum Digital Differential Analyzer). La prima macchina venne tra l'altro trasportata a Princeton, per essere mostrata a John von Neumann, che ne fu entusiasta, al punto di scrivere una lettera di felicitazioni e di sostegno all'ing. Northrop. Questi, tuttavia, non ritenne di aderire all'invito di sviluppare ulteriormente tale macchina, né di sostenere l'attività del gruppo che, nel frattempo, aveva sviluppato il sistema "general-pur pose" CRC102A. Il gruppo si staccò dalla Northrop Aircraft per fondare la Computer Research Corporation, con fondi raccolti prevalentemente dalle famiglie degli stessi protagonisti e da loro amici: Le difficoltà finanziarie indussero poi gli stessi a ricercare altre soluzioni e infine ad accettare l'offerta di incorporazione della National Cash Register, desiderosa di costituire una

dalla Delegazione Italiana per il Piano Marshall (retta dal dr.Ortona, poi divenuto ambasciatore) a Washington, si ebbe notizia di macchine di taglia e di costo relativamente contenuti e, soprattutto, offerte in vendita. Non ero molto convinto che gli americani avrebbero accolto la richiesta del Politecnico (il Piano Marshall era stato pensato per le industrie, non per le università). Cassinis mi rispondeva che la richiesta prevedeva che il Politecnico avrebbe operato anche per le industrie. Collaborai comunque per la scelta della macchina, costruita da una piccola ditta californiana, spin-off della Northrop Aircraft di Los Angeles, che era tra l'altro tra quelle segnalate dal National Bureau of Standards.

Già sul piede di partenza per gli Usa (con la famiglia) fui convocato (dicembre 1953) da Cassinis che mi comunicava l'accettazione della richiesta del Politecnico e mi invitava a occuparmi del problema anche a nome di una commissione costituita dal rettore con Ercole Bottani e Luigi Amerio (ingegnere e allievo di Picone). Non potevo non accettare ma, nello stesso tempo mi sorse il problema di comunicare alla National Science Foundation la mia impossibilità di accettare la Borsa di studio: tutto si risolse bene.

Parti subito per Los Angeles (ove ebbi modo di visitare anche Caltech per scusarmi del cambiamento dei miei programmi). Scoprii anche che non vi si svolgeva una attività importante sui calcolatori, e neppure in UCLA (University of California at Los Angeles) ove però esisteva, ospitato dall'università, un importante laboratorio del National Bureau of Standards, che vi aveva progettato e costruito uno dei più potenti calcolatori, lo SWAC (con architettura parallela e memoria del tipo elettrostatico o di Williams): fu un centro che potei frequentare assiduamente, essendovi stato introdotto da Washington. Lo stesso ente costruì a Washington D.C. la macchina SEAC, di tipo seriale, con memoria costituita da tubi di vetro pieni di mercurio (messa a punto durante la guerra per i radar). Vi si facevano tra l'altro ricerche rivolte a facilitare l'introduzione di dati e programmi nelle macchine, e mi fu mostrata una cartuccia comprendente un lungo filo metallico sul quali si registravano magneticamente le informazioni: era la precorritrice della cassetta magnetica inventata poi dalla Philips, usata poi per molti anni per la registrazione di suoni su nastro magnetico.

Lo stabilimento del costruttore della macchina scelta (CRC102A della CRC-Computer Research Corporation), era situato a Hawthorne (appena a sud di Inglewood, l'aeroporto di Los Angeles). Il calcolatore scelto utilizzava numeri in binario puro, con memoria a tamburo magnetico di 1024 ( $2^{10}$ ) parole di 42 bit, con istruzioni a 3 indirizzi, con una memoria ausiliaria a nastro magnetico. L'entrata e l'uscita dei dati era prevista attraverso macchine a schede perforate IBM. Questa soluzione fu da noi scartata per ragioni dic osto (il costo delle macchine a schede superava quella del calcolatore vero e proprio, che non doveva superare 130.000 \$). Fu adottata una telescrivente speciale (Flexowriter) dotata di lettore e perforatore di nastro (a 7 bit) operante a 10 caratteri/sec. Una descrizione più ricca della macchina è riportata nell'Appendice A.

Definita col costruttore la macchina, presi poi parte anche alla sua costruzione e messa a punto: il contratto prevedeva che, una volta caricata sulla nave nel porto di Long Beach, cessava la responsabilità del costruttore. Ecco perché dovetti conoscerne alla perfezione ogni dettaglio. Il programma di formazione prevedeva, nei primi 3 mesi, un corso che frequentai con altri due colleghi: un ufficiale della US Navy e un ufficiale della Royal Canadian Air Force. Costoro, però, si

---

propria divisione elettronica. La Maddida venne ceduta da Northrop alla Bendix che fornì le macchine acquisite negli anni '50 dalle Università di Bologna e di Napoli.

limitarono ad apprendere la programmazione della macchina (alquanto facile, per via delle istruzioni a tre indirizzi).

La macchina fu completata e collaudata nei tempi previsti e, ai primi di settembre, la accompagnai alla nave (una vecchia "Liberty") destinata a portarla a Genova dove fu sbarcata l'11 Ottobre.<sup>7</sup>

## 7. Il Centro di Calcolo del Politecnico: le applicazioni

Il Centro di calcoli numerici fu eretto come istituto, con un Consiglio direttivo composto dal Rettore del Politecnico come presidente, dal prof. Luigi Amerio come direttore scientifico, dal prof. Luigi Dadda come direttore tecnico, nonché dai professori Ercole Bottani e Francesco Vecchiacchi (deceduto nel 1955 e sostituito dal prof. Giuseppe Bolla).<sup>8</sup>

Varie furono le preoccupazioni dei responsabili del nuovo Istituto per dare vita alle sue attività. Una volta installata la macchina, occorreva prevederne il servizio di manutenzione, preventiva e correttiva. Tenere in perfetto funzionamento un sistema composto da oltre seicento tubi elettronici e seimila diodi al germanio non fu compito facile: si assunse e si istruì un tecnico giovane e volenteroso, ma non furono pochi i casi in cui il direttore tecnico dovette mettere le mani sulla macchina, insieme agli stessi programmatori (quelli di estrazione elettronica) che non esitavano a rimboccarsi le maniche pur di vedere concluso un calcolo. Calcolo che poteva durare anche un'intera notte, con un tempo medio tra i guasti che era di poche ore!<sup>9</sup>

Il calcolatore fu fornito con due tipi di programmi: uno destinato alla ricerca dei guasti e da me sperimentato in USA: assicuro di averlo messo alla prova ma di non aver mai potuto risolvere con esso nessun guasto. Il programma non teneva in alcun conto l'architettura della macchina essendo basato sulle sole proprietà elementari del sistema binario. Più tardi ne costruii uno che rifletteva

---

<sup>7</sup> La macchina fu per mia richiesta posta al centro di un blocco di balle di cotone, ben protetta dalle vibrazioni della nave delle quali temevo molto gli effetti. La macchina infatti giunse a destinazione in perfette condizioni. Lo sdoganamento fu un po' speciale: infatti, i doganieri non riuscirono a trovare una denominazione adeguata nei loro regolamenti. Una prima proposta: macchina a schede perforate si rivelò inapplicabile perché la macchina non usava schede, bensì un nastro di carta perforato, noto però solo per le telescriventi. Non ricordo come abbiano risolto il problema. Subito ne sorse un altro, riguardante le valvole termoioniche nonché i diodi al germanio. Infatti la legge prescriveva per questi oggetti il pagamento di una tassa (la "tassa radio", che fungeva da canone per la radio). Tentai di fare passare i diodi (ben seimila) come "resistori anomali" secondo una dizione familiare per gli ingegneri elettrici di allora. Ma la proposta non passò, perché si trattava di diodi, e su questi era pure imposta la tassa radio. Il Politecnico, si intende, non pagò nulla, ma occorreva comunque affiggere un grosso francobollo su ciascuna valvola o diodo: cosa impossibile per i diodi, che apparivano come piccoli cilindri lunghi circa un centimetro. Il problema fu risolto con la consegna di un pacco di fogli con i quasi settemila bolli e la firma di una dichiarazione nella quale dichiaravo che li avrei affissi personalmente. Non ci fu poi, al riguardo, alcuna ispezione.

<sup>8</sup> Successivamente (1958) il Centro venne strutturato in una Sezione matematica, diretta dal prof. Luigi Amerio, e in una Sezione elettronica, diretta dal prof. Luigi Dadda.

<sup>9</sup> Mi cavai il gusto (dicembre 1954) di mettere alla prova il programma risolvendo il sistema di 9 equazioni lineari già citato, dato da Picone a Bottani una ventina di anni prima. I risultati ottenuti, con meno di dieci minuti di macchina, coincidevano perfettamente con quelli dati da Picone. Li mostrai subito a Bottani, che ne fu strabiliato. Mi disse anche che, da allora in poi, mi dovevo applicare alla materia a tempo pieno (si fa per dire: il tempo assorbito dai compiti didattici era esorbitante!). Bottani mi disse anche che era ormai del tutto convinto che le nuove macchine elettroniche non erano dei "metri di gomma" come sostenuto dalla generalità degli elettrotecnici. Gli avevo infatti mostrato come anche nel campo dei calcolatori analogici gli schemi basati sugli amplificatori operazionali permettevano di ottenere somme e integrali con precisioni determinate solo dalla precisione degli elementi passivi, resistori e condensatori.



invece l'architettura della macchina e che mi fu di grande aiuto anche nella messa a punto di nuovi circuiti, come verrà detto più avanti. L'altro insieme di programmi era costituito da quattro sottoprogrammi per l'esecuzione delle operazioni aritmetiche con numeri in "floatingpoint" (120 istruzioni in tutto). Raccolsi anche dalla letteratura una numerosa serie di parametri atti a realizzare programmi per la valutazione dei vari tipi di funzione di cui prevedevo la richiesta (funzioni trigonometriche, iperboliche, statistiche, di Bessel, ecc).

Troppo poco per offrire un qualsiasi servizio di calcolo: me ne ero reso conto già in USA, ove sviluppai un programma generale per la soluzione di sistemi di equazioni lineari (secondo il classico metodo di Gauss).

Le prime applicazioni, sia all'interno del Politecnico come dall'industria, fecero largo uso di tale programma. A cura dei primi programmatori vennero predisposti altri programmi generali, come quello per la ricerca delle radici di polinomi di grado elevato, oppure quello per la integrazione di sistemi di equazioni differenziali col classico metodo di Runge-Kutta, anche essi di grande utilità. Alcuni esempi di utenti industriali. La divisione Impianti idroelettrici della società Edison, diretta dall'ing. Marcello, famoso progettista di dighe in tutto il mondo, ci propose (dicembre 1954) la soluzione di un sistema di 16 equazioni lineari: risolvemmo il problema subito, facendo presente che avremmo potuto risolvere sistemi con un maggior numero di equazioni: arrivarono a proporci uno di 26 equazioni, dicendoci che nessuna diga al mondo era mai stata calcolata con tanta accuratezza.

L'ENI ci propose la soluzione di sistemi lineari di 4 equazioni, la cui soluzione poteva facilmente farsi "a mano": si trattava però di risolverne alcune centinaia e ciò ogni mese (le soluzioni servivano alla taratura di strumenti di misura di grandezze chimiche). Il vero problema, per noi, fu il tempo necessario alla perforazione dei dati di ingresso. I problemi non furono tutti così semplici: in realtà ogni industria richiedeva numerosi programmi costruiti allo scopo, e ciò avvenne a cura delle industrie stesse, previa formazione dei necessari programmatori con i numerosi corsi che si tennero presso il centro.

Vale la pena di rievocare qui la Pirelli, anche per la collaborazione avuta negli anni precedenti e già menzionata. Già nel dicembre 1954 la Pirelli ripropose il problema del calcolo dei campi elettrici, che già essa affrontava con metodi numerici e tecniche di rilassamento. Il compito fu affidato a Emanuele Biondi che, insieme ai tecnici della Pirelli, lo risolse brillantemente: il problema si esprimeva con un insieme di numerose equazioni lineari (fino a qualche migliaio) da risolvere con metodi ad approssimazioni successive. Occorreva anche accelerare la convergenza verso la soluzione voluta con tecniche di "forzamento" atte a ridurre i tempi di calcolo. Tempi che potevano richiedere anche fino a otto ore di funzionamento continuo. La Pirelli riuscì così a competere sul mercato internazionale con successo nel settore.

Non è ovviamente possibile qui dare un completo resoconto di un'attività che diede pienamente ragione alla intuizione del Rettore Gino Cassinis sul ruolo del calcolatore per l'industria. I nomi che si leggono nell'elenco delle industrie che ricorsero al Centro di calcoli numerici del Politecnico di Milano nei primissimi anni di attività sono, oltre a quelli già citati: Macchi, Face-Standard, Montecatini, Magneti-Marelli, Siemens, Anic, Innocenti, CGE, La Rinascente, Franco Tosi, ecc. insieme a quelli di molti istituti universitari e di ricerca quali gli osservatori astronomici di Merate, di Brera, di Pino Torinese, l'Ismes di Bergamo, l'Istituto dinamometrico di Torino, il CISE. Vi si trovano anche nomi quali Pietro Gennaro e Nino Andreatta per calcoli econometrici.

Può essere di qualche interesse aggiungere poche informazioni sull'effetto che ebbe il calcolatore nell'ambito del Politecnico stesso. Basterà dare uno sguardo alla Appendice D, che raccoglie le prime pubblicazioni (1955-1958) dei ricercatori del Politecnico stesso, per constatare come gran parte degli Istituti abbia fatto ricorso alla macchina per numerose e varie ricerche

## **8. Le trasformazioni della macchina: aggiunte e varianti**

Come si è detto prima, la macchina acquisita dal Politecnico fu "ritagliata su misura" per contenerne il costo. Non appena avviata l'attività fu evidente che erano necessari interventi per migliorarne le prestazioni. Il primo importante intervento riguardò l'entrata-uscita dei programmi e dei dati, che avveniva sulla macchina originale, come prima detto, tramite una pur perfezionata telescrivente, al ritmo di 10 caratteri/secondo. Sceglidemmo per lo scopo una macchina di costruzione inglese, messa a punto durante la guerra per rendere veloce la lettura dei messaggi tedeschi nella macchina Colossus. Essa era in grado di leggere i caratteri alla velocità di 200 caratteri al secondo, con mezzi fotoelettrici. La proprietà più importante era data dalla capacità di fermare il movimento del nastro di carta su un prescritto carattere e di riprendere la lettura di quello successivo. I circuiti necessari nel calcolatore vennero rapidamente messi a punto.

Un ulteriore miglioramento venne apportato con due nuove istruzioni per la conversione automatica di dati dal sistema decimale al binario e viceversa, La macchina appariva così all'utente come operante in decimale oppure in binario puro.

L'operazione più importante e complessa fu la creazione di quattro nuove istruzioni per ottenere l'esecuzione delle quattro operazioni aritmetiche su numeri rappresentati in floating point. La loro realizzazione risultò di fatto molto più rapida del previsto, in quanto il sistema dei nuovi circuiti venne preventivamente simulato con un linguaggio che produceva tutte le forme d'onda in punti prescelti dei circuiti e ciò permise una rapida individuazione degli inevitabili errori di cablaggio e un collaudo accurato. Un'ulteriore modifica permise il raddoppio della memoria (a tamburo magnetico) con la riprogettazione delle "testine" di lettura-scrittura che raddoppiava il numero di tracce sulla superficie del tamburo magnetico. Complessivamente, la macchina conservava lo scheletro di quella originale presentandosi all'utente programmatore come una macchina del tutto nuova e molto più potente e di facile uso. La tecnologia era però di fatto sorpassata (si era negli ultimi anni 50), sia per quanto riguarda la memoria come per i circuiti logici. I transistori erano ben noti, nonché i nuclei magnetici (già peraltro in uso nel 1953).

Ci si pose il problema del progetto di una macchina di nuova tecnologia. Si giudicò però che le macchine universitarie appartenevano ormai al passato e che il compito avrebbe richiesto risorse umane e finanziarie molto al di là di quelle disponibili. Ciò in aggiunta ai compiti didattici innovativi nei quali eravamo già fortemente impegnati e che richiedevano una ricerca di avanguardia, nello stile proprio del mondo universitario, come verrà illustrato più avanti.

## **9. Le iniziative didattiche**

L'attività didattica iniziò nell'ambito del Centro di Calcolo appena fui di ritorno dagli USA nell'ottobre 1954, per istruire i primi programmatori tra i ricercatori che attendevano l'arrivo della macchina per le proprie ricerche. Un primo corso rivolto a illustrare la struttura della macchina e

soprattutto la sua programmazione, fu tenuto ai primi del novembre 1954 dallo scrivente.<sup>10</sup> Il corso fu dedicato a quei professori e assistenti che avevano manifestato subito un forte interesse nell'uso della nuova macchina. Tra questi, Emanuele Biondi e Lorenzo Lunelli dell'Istituto di Elettrotecnica Generale, Guido Bortone, Giancarlo Scagni dell'Istituto di Matematica (successivamente anche Franco Bozzetti, Alberta Ghirardi e Antonio Pistoia) che si dedicarono subito alla nuova attività, assicurando nei mesi successivi tanto la predisposizione dei più importanti programmi di uso generale quanto la soluzione di problemi proposti sia da Istituti del Politecnico sia dall'industria.

Un primo corso "ufficiale" fu voluto nel dicembre 1954 dalla Facoltà di ingegneria per i professori (i membri della facoltà erano una quindicina in tutto): ne ricordo uno, il prof. Angelo Barbagelata, del quale avevo sette anni prima sentito l'ultima lezione, al compimento dei settantanni: fu l'unico che, al termine del breve corso, che riguardava le applicazioni, cioè la programmazione (la parola "software" non era ancora stata inventata), venne a trovarmi presso il Centro perché voleva sapere come funzionasse la macchina "dentro"! Seguirono (gennaio 1955) i corsi per gli utenti esterni in particolare per l'industria.

Nella primavera del 1955 la Facoltà di ingegneria deliberava l'istituzione del corso (annuale) "Calcolatrici elettroniche", dopo avermene chiesto il programma e affidandomelo e del corso di "Calcoli numerici" affidato al prof. Luigi Amerio: l'Appendice B ne riporta i contenuti.. Credo che siano pochissime le università, nel mondo, che abbiano, allora, deciso un corso del genere: certamente non erano le Università californiane, che avevo conosciuto bene (UCLA, Caltech). Nell'anno successivo la stessa Facoltà decise di formulare un curriculum inteso a creare la nuova figura di ingegnere elettronico. Il compito venne affidato all'Istituto di Elettrotecnica Generale, dove, accanto alle attività di ricerca prima descritte sui calcolatori si erano costituiti due altri gruppi di ricerca: uno sulle Comunicazioni elettriche guidato da Francesco Carassa, l'altro sui Controlli automatici a opera di Emanuele Biondi.

Occorreva tra l'altro superare una difficoltà legislativa, in quanto la legge in vigore non prevedeva la figura dell'ingegnere elettronico, ma solo quella dell'ingegnere elettrotecnico. La difficoltà venne superata definendo un "ingegnere elettrotecnico con indirizzo elettronico e delle comunicazioni elettriche". Poiché la legge in vigore prescriveva anche gli esami relativi, pochi dei quali di carattere elettronico se non "comunicazioni elettriche" e "radiotecnica" (come complementari), la facoltà deliberò di ridurre a semestrali alcuni dei corsi obbligatori non-elettrici, quali: "topografia", "meccanica applicata", "macchine termiche e idrauliche", "scienza delle costruzioni", "tecnica delle costruzioni", "idraulica", "costruzioni idrauliche", dando spazio ai nuovi corsi elettronici quali "elettronica applicata", "controlli automatici" e "calcolatrici elettroniche" e, successivamente, altri. Questo curriculum, venne realizzato dal 1956 e, nel 1959 portò alle prime lauree in "ingegneria elettrotecnica (indirizzo elettronico e delle comunicazioni elettriche)". Gli allievi furono selezionati tra i migliori (sempre non più di 25). Alcuni di loro scelsero la carriera universitaria, la maggioranza fu assunta dalle industrie elettroniche e informatiche, svolgendovi ottime carriere.

---

<sup>10</sup> Durante il mio soggiorno a Los Angeles, sede della nascente industria aerospaziale, raccolsi materiale per incarico un corso sul tema "Impianti elettrici ed elettronici per l'aviazione", che mi era stato affidato dalla facoltà di ingegneria nell'ambito del corso di laurea in Ingegneria aeronautica organizzato dal prof. Bruno Finzi, successivamente eletto Rettore del Politecnico.

## 10. Istituzione laurea in ingegneria elettronica

Nel 1960 fu emanata una legge che istituiva la laurea in ingegneria elettronica, con una affluenza enorme di studenti in tutte le università. Al Politecnico si continuò ad adottare di fatto il numero chiuso, fino a che, sotto la minaccia di sanzioni ministeriali, anche il Politecnico aprì le iscrizioni: fortunatamente, la "moda" dell'elettronica si era alquanto attenuata e non subimmo perciò i danni dell'eccessivo numero di allievi. Sottolineo che il curriculum dettato dalla legge ricalcava quello bene sperimentato al Politecnico, salvo qualche "errore" o "dimenticanza". La più grave: non vi era previsto nessun corso sui calcolatori elettronici. I commenti sono, qui, superflui, salvo uno di carattere generale: nel momento in cui nel mondo si parlava delle "tre C" (Communication, Control, Computer) da noi (e non solo nel Ministero) si riconoscevano le prime due, ma non la terza accezione: Sentii dire con le mie orecchie che, in fondo, la tecnologia dei computer, basata sulla "teoria della commutazione", era già stata inventata dai telefonisti!<sup>11</sup>

Come conseguenza, nel curriculum che la facoltà di ingegneria formulò per il corso di laurea di ingegneria elettronica, il corso di Calcolatrici elettroniche vi figura soloc ome corso complementare, a scelta. Nell'insieme delle università italiane i calcolatori furono accettati abbastanza rapidamente (vedi l'Appendice E) come strumento e solo più tardi e lentamente, come disciplina. Si diffusero anche corsi di programmazione e, in misura minore, di calcolo numerico. Con un problema. I corsi erano generalmente affidati a professori che, dei calcolatori, conoscevano solo il linguaggio Fortran, per averlo con successo usato per i propri problemi. E niente di più. Anche al Politecnico non riuscii a fare capire subito che la nuova disciplina doveva essere insegnata da gente meglio preparata. Riuscimmo, tuttavia, a sviluppare il filone "calcolatori" accanto alle comunicazioni elettriche e ai controlli automatici, anche ricorrendo a esperti esterni specie per i corsi riguardanti i sistemi aziendali.<sup>12</sup>

Ricordo infine che nell'ottobre del 1956 il gruppo di collaboratori più vicini al Centro, non del tutto soddisfatto della partecipazione alle attività del centro stesso, promosse (vedi Appendice C) un rilancio dell'attività didattica interna per ottenere una più fattiva collaborazione da parte dei colleghi dei vari Istituti (in buona sostanza, eravamo sovraccarichi di lavoro e, diciamo pure, stanchi di "farela pappa" a tutti quelli cui faceva comodo l'uso del calcolatore senza impegnarsi ad apprenderne la programmazione). Nel 1958 fu ufficializzato il Corso di analisi numerica e programmazione per calcolatrici elettroniche numeriche. I numerosi programmatori preparati in tali corsi costituiscono forse il più significativo contributo dato dal Politecnico di Milano alla nascita e allo sviluppo dell'informatica in Italia. Il complesso dell'attività didattica in quegli anni prelude al

---

<sup>11</sup> Alcune altre esperienze dell'epoca. Mi sentii spesso dire: "ma tu, ti senti ancora un elettrotecnico". Rispondevo più o meno: io ho scelto di occuparmi a fondo dei calcolatori. Se questif unzionassero, diciamo a vapore, risponderei: sto diventando un esperto di fluidodinamica e di termodinamica. Ma, vivaddio, i calcolatori che conosco sono reti elettriche, comprendenti diodi e valvole. Usiamo la legge di Ohm e studiamo fenomeni magnetici, perfino la legge dell'induzione elettromagnetica: perché non dovrei sentirmi ancora unelettrotecnico? Mi resi però conto che avrei trovato difficoltà nell'ottenere una cattedra di elettrotecnica, l'unica cui potevo aspirare in attesa che se ne "liberasse" una. Ripresi allora a coltivare alcuni temi indiscutibilmente elettrotecnici, sui campi elettrici, e pubblicai alcuni lavori nel settore che mi qualificavano certamente come elettrotecnico.

<sup>12</sup> Tali corsi furono preventivamente sperimentati in scuole di perfezionamento post laurea. In tale ambito un corso su sistemi aziendali fu affidato a Roberto Jovane (IBM) e a Elserino Piol (Olivetti). Il corso fu poi chiamato "Impianti di elaborazione". Tale nome venne approvato dalla facoltà di ingegneria a seguito di una mia presentazione nella quale il corso figurava come "Sistemi di elaborazione", e a seguito di perplessità espresse da uno dei professori (Bertolini, professore di costruzione di macchine) sul fatto che mancava, nel curriculum presentato, un corso di "Impianti", presente invece in tutti gli altri corsi di laurea in ingegneria.

forte sviluppo che gli insegnamenti informatici avrebbero avuto nei decenni successivi, con l'avviamento di numerosi altri corsi che oggi coprono tutta la complessa disciplina.

## 11. Le iniziative scientifiche

La ricerca vera e propria sui vari temi dell'informatica furono, come decisione di principio, non affidati al Centro di calcolo, la cui missione fu sempre la gestione e la manutenzione della macchina e soprattutto il servizio agli utenti sia universitari sia industriali, bensì agli Istituti del Politecnico in particolare l'Istituto di Elettrotecnica ed Elettronica. Le ricerche a monte e a valle dei calcoli furono anch'esse svolte nei rispettivi istituti o laboratori industriali, spesso con collaborazioni. Le ricerche nelle discipline informatiche accompagnarono la definizione dei programmi dei vari corsi che furono gradualmente fondati, in particolare, nella fase iniziale (1955), il corso di Calcolatrici Elettroniche.

Non è il caso qui di descrivere e commentare tutte le attività di ricerca, che meriterebbero una ben più ampia trattazione e documentazione. Ci si limiterà a ricordare quanto già detto sull'ampliamento della macchina (che ovviamente richiese anche un'attività di ricerca), e la successiva decisione di esplorare nuove applicazioni. Due furono i temi che richiamarono la nostra attenzione: i filtri numerici e la grafica. Un'iniziale ricerca esplorativa rese evidente che in ambedue i settori un limite grave al raggiungimento di prestazioni ragionevolmente alte era costituito dalla scarsa efficienza delle operazioni elementari aritmetiche, in particolare la moltiplicazione. Inoltre, il tema della grafica mostrava anche che doveva essere preventivamente risolto il problema della soppressione delle linee nascoste nella rappresentazione dei solidi. Questo tema fu affrontato dal neolaureato Ugo Montanari, cui si deve un metodo originale ed efficiente. Ugo Montanari è oggi professore all'università di Pisa, come lo è Fabrizio Luccio, anch'egli mio allievo.

Per quanto concerne la moltiplicazione binaria, chi scrive definì e sviluppò un metodo originale basato su contatori paralleli per la somma dei prodotti parziali. Il metodo, descritto in lingua inglese con due articoli pubblicati sulla rivista Alta Frequenza nel 1965, è anche oggi ampiamente applicato e compare in libri di testo dedicati alla aritmetica binaria. Un moltiplicatore di questo tipo fu costruito nel 1965 a cura di Domenico Ferrari, coadiuvato da un gruppo di allievi elettronici, per numeri a 12 bit, atto a essere applicato al primo minicomputer, un PDP8, come noto privo di moltiplicatore e offerto dal costruttore DEC anche per applicazioni grafiche! Il nostro moltiplicatore eseguiva il prodotto (con somma di un dato) in meno di 500ns, e risultò il più veloce di tutti quelli allora costruiti nel mondo.<sup>13</sup>

Menziono infine tra le ricerche quella che, nel 1970, vide il Politecnico di Milano associato col Politecnico di Zurigo, con il National Physics Laboratory di Oxford, con l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et Automatique) e con la GMD (Gesellschaft für Maschine

---

<sup>13</sup> Mi guardai bene dal fare, all'epoca, una simile affermazione. Che il nostro moltiplicatore fosse il più veloce al mondo me lo disse, con una telefonata da Pisa, il collega e caro amico Giovanni Gerace, che aveva fatto le opportune verifiche. Precedentemente (1960) avevo pubblicato sul Nuovo Cimento un lavoro (Circuiti per accelerare la propagazione del riporto in addizionatori di tipo parallelo, Supplemento al vol. 15, serie X, pp.169-180).

Datenverarbeitung) di Darmstadt per la costruzione della prima rete europea di calcolatori approvata dalla Comunità Europea con il progetto COST11.<sup>14</sup>

## **12. La cooperazione tra le università italiane**

### *I consorzi interuniversitari, le Associazioni culturali - I contatti internazionali*

L'accesso al Centro di Calcolo fu ovviamente permesso non soltanto ai ricercatori del Politecnico, ma anche ad altre Università, spesso inducendole a dotarsi di un proprio centro. Era evidente che nessuna, a meno di finanziamenti esterni molto generosi, avrebbe potuto disporre di macchine potenti. Avvenne inoltre che alcune importanti Università scegliessero macchine del tutto inadeguate (Analizzatori Differenziali e anche macchine "sbagliate" in particolare una macchina non del tipo "a programma registrato"), e ciò anche con finanziamenti ministeriali. Proposi allora ai colleghi di Pisa di indire una riunione interuniversitaria a Pisa, allo scopo di illustrare ai docenti e ricercatori delle altre università lo stato dello sviluppo dei calcolatori elettronici, in particolare della convenienza di scegliere soltanto macchine a programma registrato, in quanto di applicabilità generale.

Lo stesso Politecnico sentì il bisogno di una macchina più potente, e vi provvide con un accordo con l'Università statale e con la Società Remington-Rand, che installò allo scopo presso la stessa università un calcolatore di nuova concezione (basato su tecniche magnetiche). Poco dopo il Politecnico decise di dotare il proprio Centro con una nuova macchina, acquistando un calcolatore IBM 7040, concepito con speciale riguardo al calcolo scientifico. Fu per tale scopo determinante l'apporto, anche finanziario, dell'Istituto di Scienza delle costruzioni, ove si coltivò sia didatticamente che scientificamente l'applicazione dei calcolatori. In seguito, venne scelto il nuovo calcolatore UNIVAC 1108, dopo una serie di prove eseguite negli USA su diversi sistemi. Intensa fu anche la partecipazione alle attività culturali, in specie quelle che diedero origine a associazioni nazionali e internazionali.

In sede nazionale si fondò nel 1956 l'AICA - Associazione Italiana per il Calcolo Automatico. Ricordo di avere proposto e sostenuto la denominazione Associazione Italiana per l'Elaborazione dell'Informazione, che mi pareva più adatta a indicare il vasto campo delle applicazioni, che già allora iniziavano a estendersi alla elaborazione dei dati aziendali. Ma prevalse la proposta del prof.

---

<sup>14</sup> Tale progetto nacque in seno a un Comitato incaricato nel 1969 di formulare proposte per ricerche informatiche di vasto respiro in ambito comunitario. Una prima serie di riunioni si concentrò sull'idea del "grande calcolatore europeo": avrebbe dovuto essere una grande macchina, più potente di quelle esistenti e, soprattutto, concepita per servire a distanza una vasta insieme di utenti. Chiesi e ottenni che all'Italia fosse affidato lo sviluppo della rete e dei terminali. La proposta non ebbe buon esito perché ciascuno dei tre più importanti paesi (Inghilterra, Francia e Germania) sosteneva l'adozione di macchine esistenti, ma non soddisfacenti per gli scopi voluti. In un'ultima riunione che avrebbe dovuto dichiarare "forfait" presentai, col sostegno di alcuni delegati, una proposta alternativa, consistente in una rete del tutto simile a quella già in sviluppo in USA (la rete ARPA, che conoscevo bene). La proposta venne accolta all'unanimità. Nelle riunioni che seguirono mi fu facile ottenere che il minicalcolatore da utilizzare fosse l'italiano Laben 70. Le linee necessarie ci erano date gratuitamente, ma con due vincoli: la rete, necessariamente a pacchetto, doveva adottare lo schema di percorso prefissato per tutti i messaggi di un collegamento (schema avversato dagli informatici, che avrebbero voluto uno schema a percorsi arbitrari per ogni pacchetto) e, soprattutto, l'obbligo di trasmettere anche in fase di ricerca, solo traffico artificiale. La ricerca si concluse tecnicamente bene ma, a causa del vincolo appena detto, senza possibilità di sperimentare "in vivo" (come invece avveniva in USA). Al Politecnico le attività furono svolte da G. LeMoli, che tra l'altro aveva appena pubblicato lavori sulle reti di calcolatori (A Theory of Colloquies, Alta Frequenza, vol. XLII, n.10, p.493-500. Ottobre 1973). Nell'aprile 1973 organizzammo ad Arles (F) un Seminario su "Computer Networks" nell'ambito del progetto COST11. Un precedente Seminario NATO sul tema era stato tenuto a Lyngby(DK) nel 1970.

Aldo Ghizzetti (INAC) che, tra l'altro, assicurava il finanziamento della rivista CALCOLO, della quale fui Direttore responsabile anche dopo il cambiamento di nome in "Rivista di informatica". Alla fondazione dell'AICA seguì in sede internazionale quella dell'IFIP-International Federation for Information Processing". Il suo lancio ufficiale avvenne nel 1959 a Darmstadt, dove rappresentai il nostro Paese insieme al prof. Corrado Böhm, dello stesso INAC (laureatosi al Politecnico di Zurigo con una tesi precorritrice sui linguaggi di programmazione).

Nel 1958 si tenne a Courmayeur un seminario organizzato dalla Società Olivetti, con l'intervento del prof. Bar Hillel, insigne linguista. Ricordo che in tale circostanza sostenni un dibattito con un illustre fisico italiano che aveva affermato essere la scienza dei calcolatori una non-scienza, in quanto priva di teoremi. Risposi che di teoremi questa nuova disciplina ne aveva anche troppi (per il vezzo di alcuni autori di voler dare dimostrazione di cose ovvie) per il semplice motivo che il progetto delle sue reti logiche richiedeva metodi di logica formale (l'algebra di Boole era già ben nota, a opera di Shannon), e il tema dei linguaggi artificiali costituiva una nuova disciplina che ci connetteva al tema dei linguaggi naturali. In essa un primo contributo fondante era stato formulato da Backus per il linguaggio Fortran, seguito dagli sviluppi che portarono all'Algol. Inoltre, non si erano ancora trovate soluzioni soddisfacenti dal punto di vista tecnologico per i componenti fondamentali: reti logiche, memorie e, soprattutto, il software (del quale si vedeva crescere l'importanza).

Un'altra importante manifestazione fu organizzata (dall'IFIP) a Garmisch Partenkirchen(D), su un tema nuovissimo: *l'ingegneria del software*. Vi partecipai insieme al prof. Paolo Ercoli (INAC). Il costo della costruzione dei programmi era continuamente cresciuto insieme alla potenza delle macchine, Si constatò che i metodi per lo sviluppo del software erano definibili come artigianali: occorreva studiare una vera e propria nuova ingegneria, della quale si era allora capaci di definire alcune metodologie, tutte da sviluppare e da mettere alla prova.

Segnalo infine un convegno, a inviti, indetto dall'Accademia Sovietica delle Scienze a Mosca nel 1969 (regnante Krusciov ). I russi, che prima consideravano il calcolatore come uno strumento dei capitalisti, si accorsero dell'errore e incoraggiarono i loro scienziati a occuparsi della nuova tecnologia.<sup>15</sup>

### 13. Conclusioni

L'installazione, nel 1954 al Politecnico di Milano, del primo calcolatore a programma registrato in Italia (e nell'Europa continentale) fu il punto di arrivo di un'attività di ricerca rivolta all'applicazione di metodi matematici nuovi alle applicazioni scientifiche e ingegneristiche e insieme il punto di partenza per una nuova attività di ricerca, di insegnamento e di divulgazione, che diede inizio all'informatica italiana.

---

<sup>15</sup> Segnalo un episodio che mi coinvolse e che "la dice lunga" sul clima culturale nell'Unione Sovietica. Mi fu affidata, nel convegno, la presidenza di una seduta, che trattava di problemi di logica dei quali mi ero occupato nelle mie prime ricerche. Il primo oratore, il dr. Roth, IBM, trattava della sintesi di funzioni logiche con l'uso di vari tipi di operatori elementari. Presentai l'oratore e, durante la sua esposizione, mi accorsi della presenza, nella prima fila, di due persone che non avevo mai visto prima. All'apertura della discussione, uno di questi, (il compagno Kutznetov) presa la parola per dichiarare che una frase contenuta nella introduzione scritta da Roth non era accettabile, in quanto non ammessa dai principi del marxismo-leninismo. Risposi che: a) la memoria in discussione era stata accettata da un gruppo di revisori e ritenuta del tutto valida (nel dire ciò mi accorgevo che, forse, stavo mettendo nei guai alcuni colleghi russi); b) la frase incriminata era di carattere discorsivo e non intaccava assolutamente le argomentazioni scientifiche. Roth, peraltro, affermò subito che non avrebbe accettato nessuna censura.

Nell'ambito universitario il calcolatore venne considerato all'inizio essenzialmente come strumento utile a tutte le esistenti discipline e accettato inizialmente con molta riluttanza come nuova disciplina vera e propria. Gli sviluppi che seguirono nei successivi decenni videro l'affermazione dell'informatica come un vasto ventaglio di sub-discipline, con corsi di laurea appositi nella facoltà di scienze come in quelle di ingegneria. Nel Politecnico di Milano, strutturato in vari Poli regionali, sono oggi attivi tre corsi di laurea in ingegneria dell'informazione (a Milano campus Leonardo, a Como e a Cremona) e, in aggiunta, un corso su Internet (governato dal Polo di Como).



## Appendice A

### La Calcolatrice elettronica CRC 102A

Costruita nel 1954 (in venti esemplari) dalla Computer Research Corporation (divenuta parte della National Cash Register Co.), installata al Politecnico di Milano nell' Ottobre 1954.

La casa costruttrice, di circa 70 persone, era stata fondata pochi anni prima da progettisti della società di costruzioni aeronautiche Northrop Aircraft e da ricercatori provenienti dal MIT. Essi avevano precedentemente concepito il progetto di una macchina calcolatrice universale, cioè programmabile, di dimensioni e costo contenuti, con memoria a tamburo magnetico, meno costosa anche se più lenta delle memorie a tubi di Williams o a linee di ritardo a mercurio, allora usate nei prototipi nelle università e nei laboratori di ricerca.

La prima macchina costruita dalla Crc fu (nel 1953) un Dda -Digital Differential Analyzer - adatta solo alla soluzione di sistemi di equazioni differenziali ordinarie, di grande interesse proprio per l'industria aeronautica.

Seguì la costruzione della Crc 102A, ispirata ai criteri del primitivo progetto e, in più, dotata di istruzioni potenti e di facile uso.

La Crc 102A era una calcolatrice numerica universale a programma, dotata di memoria a tamburo magnetico della capacità di 1024 parole (poi da noi incrementata a 2048) di 42 bit. Era inoltre dotata di una piccola memoria (8 parole) con tempo di accesso minore e caricabile con una apposita istruzione.

Le istruzioni (25) erano a tre indirizzi (codice dell'istruzione, indirizzo del primo operando, del secondo operando, del risultato), eseguite in tempi di 10-15 millisecondi (settanta istruzioni al secondo mediamente).

I numeri, binari, erano di 36 bit oltre il bit del segno.

Le principali istruzioni erano:

- a) Comandi aritmetici (su numeri interi, o frazionari)
  - somma
  - sottrazione
  - moltiplicazione arrotondata
  - moltiplicazione completa (2 parole)
  - divisione arrotondata
  - divisione con resto (2parole)
- b) Comandi logici
  - confronto dei moduli di due numeri
  - confronto algebrico
  - normalizzazione di un numero
  - moltiplicazione per  $2^k$
  - estrazione di una parte prefissata di parola
  - spostamento di una parola verso destra o verso sinistra
- c) Comandi ausiliari
  - stampa di una o più parole
  - scrittura (a blocchi) nella memoria a nastro magnetico
  - lettura dalla memoria a nastro magnetico, o di carta

L'adozione di istruzioni a tre indirizzi (caratterizzate da varianti) facilitava notevolmente la programmazione rispetto alle istruzioni a un solo indirizzo solitamente adottate (anche in tempi successivi), richiedendo però circuiti logici corrispondentemente più complessi.

Per contenere, nonostante ciò, i costi, le dimensioni e i consumi, la tecnologia elettronica adottata era basata sull'uso del minor numero possibile di tubi elettronici, realizzando le funzioni logiche esclusivamente con reti And-Or con diodi a semiconduttore (germanio) (anziché con tubi a vuoto, molto più ingombranti e di elevato consumo).

La macchina risultava costituita da circa 600 tubi a vuoto e 6.000 diodi al germanio (quelli allora disponibili).

I tubi a vuoto erano usati solo per i flip-flop e gli amplificatori (negatori). Il loro numero fu inoltre minimizzato: in particolare, i quattro registri (seriali) necessari all'unità aritmetica furono realizzati con una piccola parte soltanto (5 bit) a tubi e il resto sullo stesso tamburo magnetico con coppie di testine di scrittura-lettura.

Inoltre, per la progettazione della complessa rete combinatoria fu adottata l'architettura a "microprogrammazione", già nota ma non ancora sistematicamente adottata (come avvenne poi in importantissimi progetti, quali il sistema IBM360).

Ciò rese facile la modifica di istruzioni preesistenti e l'aggiunta di altre istruzioni rendendo inoltre agevole la ricerca di guasti.

Fu inoltre adottata una originale disposizione fisica dei diodi e dei tubi. I primi erano disposti sulla due fiancate della macchina (si veda nelle figure) essendovi disposti per righe e colonne opportunamente marcate. Inoltre i singoli diodi non erano fissati con saldature (che avrebbero reso disagevole la loro rimozione e sostituzione), bensì con innesti elastici a scatto: una apposita pinza di plastica permetteva la facile rimozione di ogni diodo rendendo tra l'altro agevole e relativamente rapida una verifica (con apposito strumento) anche di tutti i diodi. Le valvole, invece, erano messe sulle due più piccole pareti della macchina, rivolte verso l'interno in modo da evitare che il calore generato dalle valvole potesse essere trasmesso ai diodi.

## **Appendice B**

*Dal Bollettino Ufficiale del Politecnico di Milano, 1955*

### **CALCOLATRICI ELETTRONICHE**

**Prof. Luigi Dadda**

#### **a) Programma di esame:**

*Calcolatrici analogiche* - Concetti generali. Analizzatori differenziali. Operatori matematici: moltiplicatori per costanti positive o negative. Sommatore, integratori, differenziatori, operatori generali: moltiplicatori di due variabili; generatori di funzioni arbitrarie. Costituzione di un analizzatore differenziale per alcuni tipi di equazioni differenziali lineari o non lineari: metodi per l'introduzione dei valori iniziali. Errori negli operatori matematici. Studio degli amplificatori per operatori matematici. La deriva dello zero e sua compensazione. Stabilizzazione degli amplificatori. Vari tipi di moltiplicatori e generatori di funzioni arbitrarie. Macchine calcolatrici analogiche per scopi speciali: vasche elettrolitiche e analizzatori di rete.

*Calcolatrici aritmetiche* – Struttura generale di una calcolatrice aritmetica a programma. Tipi di istruzioni: istruzioni a uno o a più indirizzi, Criteri generali per la programmazione dei problemi.

Studio delle reti logiche per calcolatrici. Fondamenti dell'algebra di Boole e sua applicazione all'analisi e alla sintesi delle reti logiche. Realizzazione delle operazioni aritmetiche e logiche fondamentali per mezzo di reti con tubi elettronici e con raddrizzatori. Matrici di selezione. Accumulatori e registri per macchine di tipo serie e di tipo parallelo. Il sistema di numerazione binaria. Vari sistemi di codificazione binaria delle cifre decimali. Operazioni aritmetiche e logiche su numeri decimali codificati. I vari tipi di memorie: a tubi elettronici, a linee di ritardo, elettrostatiche, a nuclei ferromagnetici, a tamburo magnetico, a nastro magnetico. I mezzi per l'entrata e l'uscita dei dati. Cenni sulle applicazioni delle calcolatrici elettroniche.

b) Modalità di esame: è richiesta la sola prova scritta

a) Libri consigliati:

A.Korn e M. Korn: *Electronic analog computers*, McGraw Hill, 1952. *Highspeed computing devices*, McGraw Hill, 1950. R.K. Richards: *Arithmetic operations in digital computers*. D. Van Nostrand, New York, 1955.

## **CALCOLI NUMERICI**

**Prof.Luigi Amerio**

a) Programma di esame:

*1-Interpolazione* – Formule di integrazione numerica. Sistemi lineari, Risoluzione per approssimazioni successive (metodi di Richardson e di Seidel). Equazioni algebriche e trascendenti. Metodi di Graeffe. Integrazione delle equazioni differenziali ordinarie, metodi di Cauchy-Lipschitz e di Runge-Kutta. Equazioni a derivate parziali. Metodi delle differenze finite.

*2 –Programmazione delle calcolatrici elettroniche* a uno e a tre indirizzi, con applicazioni ai problemi trattati nella teoria

b) Libri consigliati:

L.Collatz,; *Numerische Behandlung von differential Gleichungen*. G.Cassinis: *Calcoli numerici*.  
M.Picone: *Calcolinumerici*

Sugli argomenti del corso verranno distribuiti appunti a uso degli studenti.

## **Appendice C**

### *Promemoria per il Consiglio direttivo del CCN*

Ch.mo prof. Gino Cassinis,

Nel periodo, di circa due anni, trascorsi dall'inizio dell'attività del Centro di calcoli numerici, abbiamo avuto modo di acquistare una buona esperienza nei problemi relativi alle grandi macchine calcolatrici, sia sotto l'aspetto elettronico che sotto l'aspetto dell'analisi numerica e della programmazione.

L'attività del centro è stata fino a oggi quasi esclusivamente rivolta alla programmazione di problemi, sovente di rilevante importanza pratica, proposti al Centro da terzi, e alla organizzazione di un efficiente servizio di manutenzione della calcolatrice.

Tale attività ha dimostrato le notevoli possibilità del Centro, contribuendo così alla sua affermazione, e ha permesso a noi di imparare tecniche nuove e di acquistare una preziosa esperienza.

L'intensificazione del numero di problemi proposti e la complessità delle programmazioni richieste ci ha fatto peraltro riflettere intorno ai compiti del Centro stesso.

Ci permettiamo di esporre la sostanza delle nostre riflessioni, che tengono anche presente la nostra posizione di Assistenti universitari e il fatto che il Centro è inserito in un Politecnico.

I compiti preminenti dei membri del Centro ci sembra possano così riassumersi:

1) ricerca scientifica nei rispettivi campi dell'analisi numerica, della programmazione e della elettronica delle macchine, con l'obiettivo di mettere a punto nuovi metodi e nuovi strumenti di calcolo;

2) attività didattica, sia volta alla preparazione di nuovi ricercatori e di tecnici qualificati per l'industria (come già si è iniziato a fare con i due corsi di "Calcolo numerico" e di "Calcolatrici elettroniche"), sia volta alla preparazione di programmatori esterni al Centro (mediante regolari corsi di programmazione) per conto di tutti quegli Enti che vorranno servirsi della calcolatrice;

3) servizio di manutenzione della macchina; creazione di una adeguata biblioteca di sottoprogrammi (di cui ogni giorno di più si avverte l'urgenza); attività di consulenza, ove richiesta, ai programmatori esterni.

Di conseguenza è indispensabile organizzare al più presto corsi di programmazione preparando tutto il materiale che è necessario mettere a disposizione dei partecipanti ai corsi, affinché tali corsi raggiungano il loro scopo.

D'altra parte l'esperienza degli ultimi mesi ci ha dimostrato che per noi è impossibile preparare tale materiale, essendo il nostro tempo assorbito per conto di terzi.

Pertanto riteniamo necessario:

- esaurire i lavori per conto di terzi attualmente in corso (e questo ci terrà presumibilmente impegnati ancora per un paio di mesi);
- sospendere l'accettazione di lavori per conto di terzi;
- organizzare e svolgere il primo corso di programmazione entro i primi mesi del 1957.

Al termine del primo corso, l'attività per conto di terzi potrà riprendere su nuove basi, e questo ci consentirà di dedicare il nostro tempo soprattutto alla ricerca scientifica.

Emanuele Biondi

Luigi Dadda

Guido Bortone

Lorenzo Lunelli

Milano, 17 Ottobre 1956

## **Appendice D**

### **Le prime pubblicazioni**

#### **A) Pubblicazioni del personale del Politecnico**

1) G.Cassinis, *Il Centro di Calcolo Numerico del Politecnico di Milano*, Inaugurazione del Centro di Calcolo Numerico (31 Ottobre 1956), Politecnico di Milano, 1956

2) L.Dadda, *La calcolatrice CRC 102A del Centro di calcolo numerico*, ibidem, 1956

3) L.Amerio, *Le Calcolatrici Elettroniche*, Prolusione alla Inaugurazione dell'anno accademico 1955-56, *Annuario del Politecnico di Milano 1955-56 a 1962.63*, vol1, pp.18-27

- 4) G. Bortone, *Base 10, base 2, ..., base n*, Schede perforate e Calcolo elettronico, vol.1, n.2, marzo-aprile 1955, pp.16-21
- 5) G. Bortone, *Le calcolatrici elettroniche e l'algebra di Boole*, Schede perforate e Calcolo elettronico, vol 1, n.5, settembre-ottobre 1955, pp.18-24
- 6) E. Biondi, *Esperienze sulla risoluzione numerica di alcune equazioni differenziali alle derivate parziali*, Rendiconti Congresso della Società italiana per il Progresso delle Scienze, Palermo 1956
- 7) G. Scagni, *Sul calcolo numerico delle radici in-esime*, Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, Rendiconti, Classe di Scienze, vol. 90, 1956, pp.255-66
- 8) L. Lunelli, *Elementi di programmazione per una calcolatrice a tre indirizzi*, Schede perforate e Calcolo elettronico, vol. 2. n. 11, Settembre-Ottobre 1956, pp.17-29
- 9) A. Ascari, G. Bortone, L. Businaro, *Calcolo di un reattore sferico a più regioni e a due gruppi con una calcolatrice aritmetica*, Rapporto CISE, n. 59, Milano 1956, pp.26
- 10) L. Amerio, *Sul principio di minimo in analisi numerica*, (Conferenza al Corso di Programmazione, 1956-57)
- 11) S. Albertoni, *Questioni di stabilità, convergenza e consistenza nella soluzione numerica delle equazioni alle derivate parziali*, (Conferenza al Corso di Programmazione, 1956-57), Energia Nucleare, 5-3-1958, pp-187-98)
- 12) L. Dadda *Due nuovi comandi di biforcazione per una calcolatrice elettronica a tre indirizzi*, La Ricerca scientifica, 27.4.1957, pp.1125-32
- 13) L. Dadda, *Un circuito di controllo per memorie a tamburo magnetico di calcolatrici elettroniche*, La Ricerca scientifica, 27,5,1957, pp. 1482-88
- 14) L. Dadda, *Circuiti per la registrazione e la lettura di numeri binari in una memoria a tamburo magnetico*, La Ricerca scientifica, 27.8.1957, pp.2403-25
- 15) L. Lunelli, *Un comando di computo di cicli per una calcolatrice elettronica a tre indirizzi*, La Ricerca scientifica, 27, .11. 1957, pp.3381-94
- 16) L. Lunelli, *Determinazione delle maglie in una rete mediante una calcolatrice elettronica*, Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, Rendiconti, Classe di scienze, vol.91, 1957, pp.927-35
- 17) L. Dadda, *Le conversioni automatiche nelle calcolatrici elettroniche*, L'Energia elettrica, 35.11,1958
- 18) L. Lunelli, M. Sce, *Sulla ricerca dei k-archi completi mediante una calcolatrice elettronica*, Atti Convegno internazionale Reticoli e Geometrie proiettive, Palermo-Messina, 1957 (Roma,1958), pp. 81-86.
- 19) L. Lunelli, M. Sce, *k-Archi completi nei piani proiettivi desarguesiani di rango 8 e 16*, Centro di Calcoli Numerici, Politecnico di Milano, 1958, p. 11.
- 20) S. Albertoni, G. Bortone, B. Faleschini, C. Tamagnini, *Un programma matriciale per la ricerca delle condizioni critiche in un reattore sferico*, Rapporto CNI, Milano 1958, p-21
- 21) S. Albertoni, *Su un problema di propagazione con autovalori per l'equazione del calore*, Istituto Lombardo, Accademia di Scienze e Lettere, Rendiconti A 92-2-1958, pp.206-16
- 22) E. Biondi, E. Occhini, *Applicazione del metodo delle differenze finite allo studio di sistemi fisici continui in regime stazionario*, L'Energia Elettrica, 35, 12, 1958
- 23) G. Bortone, A. Masani, A. Zanoni, *Studio sulla struttura interna di una stella gigante rossa di tipo h - Aquilae*, Mem. Soc. Astronomica Italiana, vol. XXIX, n.2-3,1958
- 24) E. Biondi, *Comandi per numeri normalizzati per una calcolatrice elettronica a tre indirizzi*, La Ricerca scientifica, 28,1958
- 25) E. Biondi, *Equazioni logiche per comandi per numeri normalizzati per una calcolatrice elettronica numerica a tre indirizzi*. Centro di Calcoli numerici del Politecnico di Milano, 1958, p14

- 26) L. Dadda, *La risoluzione di sistemi di equazioni di Boole per mezzo di una calcolatrice elettronica*, La Ricerca scientifica, 1958
- 27) G. Prouse, *Sulla risoluzione del problema misto per le equazioni iperboliche non lineari mediante le differenze finite*, Annali di matematica, 1958.
- 28) E. Biondi, E. Occhini, *Sulla risoluzione di alcuni tipi di equazioni differenziali alle derivate parziali*, Relazione su ricerche e studi promossi dall'Anidel, 1958
- 29) E. Biondi, M.L. Del Buono, *Su di un nuovo metodo iterativo per la risoluzione dei sistemi algebrici lineari*, Relazione su ricerche e studi promossi dall'Anidel, 1958
- 30) C. Casci, V. Giavotto, *An experimental and indirect Method for Determining High Atmosphere Density*, Il Nuovo Cimento, 1959

**B) Pubblicazioni nelle quali sono riportati risultati ottenuti con la calcolatrice Crc 102A/P**

A fianco di ogni indicazione appare il nome delle persone che hanno curato l'analisi numerica o la programmazione del problema.

- 1) A. Castelfranco, *La regolazione automatica della temperatura e la conduzione termica nei forni*. Rivista di Ingegneria, 7-12-1957, pp.25-34 e 137-44 (L.Lunelli)
- 2) B. Colombo, *L'utilizzazione del calcolatore elettronico in una applicazione del metodo Monte Carlo alla teoria delle code*, Schede perforate e Calcolo elettronico, vol.3, n.15, maggio-giugno 1957, pp. 1-6 (G.Bortone, R. Bonelli)
- 3) F. Carassa, *Deformazione di forme d'onda nei ponti radio televisivi con modulazione di frequenza*, Alta Frequenza, 26-5-1957, pp.474-501. (L.Lunelli)
- 4) E. Occhini, M.L. Del Buono, *Sul problema dei bordi in terminali a condensatori per cavi ad altissima tensione*, 44-9-1957, pp.518-528. (E. Biondi)
- 5) G. Formica, *Due metodi per il calcolo dei profili di rigurgito in alvei cilindrici*, L'Energia Elettrica, 34-12-1957, pp.1145-53 (L.Lunelli)
- 6) A.Pistoia, *Alcune applicazioni dei calcolatori elettronici in campo assicurativo (Parte I e II)*, Schede perforate e Calcolo elettronico, 4, n.20, marzo-aprile 1958, pp. 43-78; n.23, settembre-ottobre 1958, pp.163-6 (F.Buzzetti)
- 7) F.Bassani, *Energy bound structure of sodium atoms in the diamond lattice*, Proceedings of the International Conference in Semiconductors (Rochester 1058) (G.Bortone, A.Ghirardi)
- 8) E. Massa, *Sulla dinamica delle macchine a regime periodico azionate da motore asincrono (con particolare riguardo al telaio per tessitura)*, L'ingegneria meccanica, anno VII, n.16, ottobre 1958. (L.Lunelli)
- 9) E. Massa, *Stabilità delle vibrazioni sincrone con una forza eccitatrice sinusoidale nel tempo in sistemi non lineari con rigidità costante e tratti a due gradi di libertà*, Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, A-VOL.92,1958, PP. 501-35 (G.Bortone, E.Massa)
- 10) C. Casci, V.Giavotto, *Sul tempo di vita dei satelliti artificiali*, IX Congresso Internazionale di Astronautica, Amsterdam, agosto 1958. (V. Giavotto)

## Appendice E

*Calcolatori installati od ordinati al 31/1/1961*

<i>Nelle università:</i>			
Bologna	Facoltà di Ingegneria e Università		Bendix Dda
Bologna	Facoltà di Ingegneria e Università		Ibm 650
Bologna	Università		GammaET
Cagliari	Università	(ord)	Ibm 1620
Genova	Università	(ord)	Ibm650
Genova	Università		Ibm 1620
Napoli	Facoltà di Ingegneria		BendixDda
Napoli	Facoltà di Ingegneria	(ord)	Bendix G20
Padova	Università	(ord)	Elea 6001
Pisa	Istituto di Fisica		Cep
Milano	Politecnico		CRC102A
Milano	Università e Politecnico		Uss90
Roma	Facoltà di Ingegneria e Ministero Aeronautic		Bendix G 15
Roma	Università, Rettorato		Ramac315
Torino	Politecnico	(ord)	Elea 6001
Trieste	Università	(ord)	Ibm 1620

<i>In centri di ricerca e centri servizio:</i>			
Bologna	Cnen		Ibm704
Bologna	Cnen	(ord)	Ibm 1620
Ispra	Euratom Ccc		Ibm1620
Ispra	Euratom Ccc	(ord)	Ibm 7090
Milano	Royal McBeem Centro servizi		Lpg 30
Milano	Olivetti Centro Calcolo Elettr.		Elea 9002
Milano	Olivetti Centro Calcolo Elettr.	(ord)	Elea 6001
Milano	Olivetti-Bull, Centro servizi	(ord)	Bukk 300
Milano	Olivetti-Bull, Centro Naz,Calc,Elettr.		GammaET
Milano	Ibm, Centro dicalcolo		Ibm 650
Milano	Ibm, Centro servizi	(ord)	Ibm 1401
Milano	Ibm, Centro servizi	(ord)	Ibm 1620
Roma	Cnr	(ord)	Elea 6001
Roma	Cnr-Inac		Ferranti
Roma	Irmou, Centro servizi		Ibm 650
Roma	Cnen		Ibm 1620
La Spezia	Saclaw Asw R.C		Era 1103
Sesto Calende	Siai Marchetti	(ord)	Ibm 1620