

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

Conservazione e riattivazione di un elaboratore elettronico: il PDP-11 del Centro di Sonologia Computazionale

LAUREANDO

Alessandro Liberalato

Matricola N°1195607

RELATORE

Prof. Sergio Canazza Targon

Università di Padova

CORRELATORE

Dott. Alessandro Fiordelmondo, Dott. Alessandro Russo

Università di Padova

ANNO ACCADEMICO
2022/2023

Dedicata a mio padre
(17/05/1963 - 14/11/2022)

Abstract

The progressive evolution of technology has significantly and rapidly changed the software storing devices. Magnetic carriers (floppy disks) were the most common in the computers from the eighties. Nowadays it is not possible anymore to rely on their ability to store data, so a preservation process is necessary, together with the firmware contained in the original computer. In this way it will be possible to emulate the system, avoiding computers, which contribution has been essential for computers and music history (CSC's PDP-11), to be forgotten, causing the impossibility of a thoroughly study of the musical works that were made with these devices.

Sommario

Il continuo evolversi della tecnologia ha modificato in modo importante e rapido i supporti di memorizzazione del software. I supporti di tipo magnetico (floppy disk) furono quelli maggiormente diffusi nei calcolatori anni 80. Oggi non è più possibile fare affidamento sulla loro capacità di memorizzazione e diventa necessaria un'operazione di conservazione degli stessi, unitamente al firmware contenuto nel calcolatore originale. In questo modo si potrà poi procedere al recupero dei dati e all'emulazione del sistema onde evitare che computer il cui contributo alla storia dell'informatica e della musica (PDP-11 del CSC) è stato rilevante, vengano dimenticati, causando l'impossibilità di studiare a fondo le opere musicali che sono state realizzate con questi elaboratori.

Indice

Elenco Figure	xi
Lista Acronimi	xix
1 Prefazione	1
1.1 Il Centro di Sonologia Computazionale di Padova	2
1.2 Nozioni Storiche	3
2 Importanza della Conservazione	7
3 Tipologie di Supporti	9
3.1 Schede Perforate e Nastro Perforato	9
3.2 Cartoline Magnetiche	14
3.3 Olivetti MiniDisco	16
3.4 I Floppy Disk	16
4 Organizzazione dei Floppy Disk e Formati	21
4.1 Formati di Codifica	22
4.1.1 Il Formato FM	23
4.1.2 Il Formato MFM	23
4.1.3 Il Formato GCR	24
4.1.4 Il Formato M2FM	25
5 Conservazione a Basso Livello di un Floppy Disk	27
6 Strumenti per la Conservazione dei Floppy Disk	29
6.1 KRYOFLUX	29
6.2 GREASEWEAZLE	30
6.3 FLUXENGINE	31

INDICE

7	Il File Immagine, gli Emulatori e il Recupero dei File	33
8	Il Digital PDP-11 e la Scheda 4i	37
9	RESTAURO DEL PDP-11/34 - IL FLOPPY DRIVE	39
9.1	Unità Dual Drive 8 Pollici	39
9.1.1	Scheda Analogica dei Drive	39
9.1.2	Condensatore di Avviamento del Motore	40
9.1.3	Alimentatore Lineare	40
9.1.4	Meccanica dei Floppy Drive	41
9.2	Lettura dei Floppy Disk del PDP-11	41
9.3	Creazione delle Immagini di Disco	44
9.4	Analisi delle Immagini	47
9.5	Scrittura su Disco	48
10	RESTAURO DEL PDP-11/34 - UNITA' CENTRALE	51
10.1	L'Alimentatore	51
10.2	Rigenerazione di un Condensatore Elettrolitico	52
10.3	Verifica dei Blocchi di Alimentazione	54
10.4	Le Schede Logiche del PDP-11	55
10.4.1	Schede CPU	55
10.4.2	Scheda Floating Point	56
10.4.3	Scheda Console M7859	57
10.4.4	Scheda RAM M7891	58
10.4.5	Scheda Seriale SLU + Real Time Clock M7856	58
10.4.6	Scheda DR 11-C Interface M7860	59
10.4.7	Scheda RL11 Controller M7762	60
10.4.8	Schede BUS Propagation M9202	60
10.4.9	Grant Continuity Cards	60
10.4.10	Scheda Floppy Disk Controller	62
10.4.11	Scheda Controller 4i	62
10.4.12	Scheda Modem DUP 11-DA M7867	64
10.4.13	Scheda Bootstrap Terminator M9312	64
10.4.14	Scheda Terminatore M9302	65
11	EPROM, ROM e PROM	67
11.1	Le EPROM	67

11.2	Le Mask-ROM	69
11.3	Le PROM	70
12	La Conservazione del Firmware	73
12.1	Conservazione del Firmware del PDP-11 del CSC	73
12.2	Il Processo di Lettura di una PROM	77
12.3	Verifica della correttezza della lettura	81
13	Emulazione del Sistema PDP-11/34	85
14	Apple II Clone	89
14.1	Conservazione del Firmware del Clone	91
14.2	Restauro dell'Hardware	92
14.3	Creazione di Floppy Disk per Apple II	95
15	MSX Philips VG-8235	97
15.1	Nozioni Storiche sugli MSX	97
15.2	Restauro dell'MSX2 VG-8235	99
16	Conclusioni e Implementazioni Future	103
	Bibliografia	105
	Riconoscimenti	107

Elenco Figure

1.1	<i>L'organo elettronico realizzato da Debiasi</i>	3
1.2	<i>Due Olivetti Programma 101 - Collezione Liberalato</i>	4
3.1	<i>Schema Punti / Linee - Luigi Serrantoni</i>	10
3.2	<i>Il codice di Baudot - www.CircuitousRoot.com</i>	11
3.3	<i>Il lettore Honeywell 5082 - Collezione Liberalato</i>	13
3.4	<i>Esempio di nastro perforato a 8 canali</i>	13
3.5	<i>Una cartolina magnetica con custodia.</i>	15
3.6	<i>Una Olivetti P6040 - Collezione Liberalato</i>	17
3.7	<i>Un drive BASF 6104 con un disco da 8 pollici</i>	18
3.8	<i>La DC-6150 Data Cartridge Tape di 3M</i>	20
4.1	<i>La suddivisione in tracce (giallo) e settori (rosso)</i>	22
4.2	<i>Il formato di codifica FM</i>	23
4.3	<i>Il formato di codifica MFM</i>	24
7.1	<i>Il profilo HxCFloppyEmulator per produrre un'immagine disco RX-02</i>	34
7.2	<i>Esempio d'uso di DOS Disk Browser per estrarre files</i>	35
8.1	<i>Il setup PDP-11 + Dual Drive da 8 pollici + Terminale Televideo 925</i>	38
9.1	<i>La scheda Greaseweazle V4 e l'adattatore per drive da 8 pollici</i>	42
9.2	<i>Il setup per la conservazione dei floppy da 8 pollici</i>	43
9.3	<i>La funzione Seek da FluxMyFluffyFloppy</i>	44
9.4	<i>Il profilo di acquisizione correttamente settato</i>	45
9.5	<i>La funzione di conversione con parametri settati</i>	46
9.6	<i>La funzione di conversione durante l'elaborazione dell'immagine</i>	47
9.7	<i>Parte del listato Fortran per la generazione di un suono su scheda 4i</i>	48

ELENCO FIGURE

9.8	<i>Il software host della Greaseweazle durante la scrittura di un disco da 8 pollici.</i>	49
10.1	<i>Slot 1 - Scheda CPU 1</i>	55
10.2	<i>Slot 2 - Scheda CPU 2</i>	56
10.3	<i>Slot 3 - Scheda Floating Point</i>	56
10.4	<i>Adattatori ponte scheda floating point e CPU</i>	57
10.5	<i>Slot 4 - Scheda Console M7859</i>	57
10.6	<i>Slot 5 - Scheda RAM M7891</i>	58
10.7	<i>Slot 6 - Scheda SLU + Real Time Clock</i>	59
10.8	<i>Slot 7 - Scheda DR 11-C Interface M7860</i>	60
10.9	<i>Slot 8 - Scheda RL11 Controller M7762</i>	61
10.10	<i>Slot 9 e 11 - Schede del modulo M9302</i>	61
10.11	<i>Una Grant Continuity Card originale</i>	62
10.12	<i>Slot 12 - Floppy Disk Controller</i>	63
10.13	<i>Slot 14 - La scheda controller per la 4i</i>	63
10.14	<i>Slot 16- La scheda Modem</i>	64
10.15	<i>Slot 4 MUD- La scheda bootstrap terminator</i>	65
10.16	<i>Configurazioni DIP-Switch per settaggio Boot PROM</i>	65
10.17	<i>Slot 19 - Il terminatore M9302</i>	66
11.1	<i>Una EPROM modello 27256 da 32KB</i>	68
11.2	<i>Una Mask ROM MOS 901888-01 proveniente da un Commodore 8250LP</i>	70
11.3	<i>Una PROM MMI 6349-2N con organizzazione 512x8 bit</i>	71
12.1	<i>Il confronto tra il pinout di una EPROM 2716 e una PROM 82S123</i>	74
12.2	<i>L'adattatore per leggere PROM in modalità 2716 con il TL866A</i>	75
12.3	<i>Il collegamento delle linee di indirizzo dal programmatore alla PROM</i>	75
12.4	<i>Il collegamento delle 8 linee dati dal programmatore alla PROM</i>	76
12.5	<i>Il collegamento delle linee di alimentazione e chip-select</i>	76
12.6	<i>La scheda controller 4i con le 4 PROM cerchiare in giallo</i>	78
12.7	<i>Schema del corretto inserimento dell'adattatore sul programmatore TL866A</i>	78
12.8	<i>Il TL866A con l'adattatore + PROM inserito</i>	79
12.9	<i>Il software host del TL866A a lettura della PROM completata.</i>	80
12.10	<i>Il dump della PROM D nel software HxD</i>	81
12.11	<i>Il circuito per la verifica hardware del contenuto della PROM</i>	82
12.12	<i>Schema dei due nibble rappresentati dai LED</i>	82

13.1	<i>La schermata di avvio di PDP11.exe di SIMH</i>	85
13.2	<i>La schermata di configurazione di puTTY</i>	87
13.3	<i>La directory del floppy RT-11 con i driver per la 4i</i>	88
14.1	<i>Il clone Apple II, venduto dalla OSAT Elettronica</i>	89
14.2	<i>Il controller floppy - clone dell'Apple Disk II</i>	91
14.3	<i>La schermata di boot di CP/M-80 sul clone Apple II</i>	93
14.4	<i>La scheda con il processore Z80</i>	94
14.5	<i>L'interprete BASIC del clone in funzione</i>	94
15.1	<i>Il Philips VG-8235 del CSC</i>	98
15.2	<i>La meccanica del floppy drive con la cinghia spezzata</i>	100
15.3	<i>Le schermate di MSX Designer nell'emulatore</i>	101
15.4	<i>MSX Designer funzionante sul computer fisico.</i>	102

Lista Acronimi

ALU Aritmetic Logic Unit

ARM Advanced RISC Machine

ASCII American Standard Code for Information Interchange

ATX Advanced Technology eXtended

ARPANET Advanced Research Projects Agency NETwork

ASR Automatic Send Receive

AV Audio / Video

BCD Binary Coded Decimal

CBM Commodore Business Machines

CP/M Control Program for Microcomputers

CPU Central Processing Unit

CSC Centro di Sonologia Computazionale

DEC Digital Equipment Corporation

DOS Disk Operating System - MS-DOS (MicroSoft DOS)

EPROM Erasable Programmable Read Only Memory

ESR Equivalent Series Resistance

FAT File Allocation Table

FM Frequency Modulation

ELENCO FIGURE

GCR Group Code Recording

GND Ground

GUI Graphical User Interface

IBM International Business Machines Corporation

IDE Integrated Drive Electronics

ISA Industry Standard Architecture

IRCAM Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique

ITA International Telegraphy Alphabet

LED Light Emitting Diode

LSB Least Significant Bit

MFM Modified Frequency Modulation

M2FM Modified Modified Frequency Modulation

MROM Mask Read Only Memory

MSB Most Significant Bit

MSX Machines with Software eXchangeability

OTP One Time Programmable

PDP Programmed Data Processor

PROM Pogrammable Read Only Memory

QIC Quarter Inch Cartridges

RAM Random Access Memory

ROM Read Only Memory

RPM Revolutions Per Minute

SCR Silicon Controlled Rectifier

SLU Serial Line Unit

TPI Tracks Per Inch

TTL Transistor Transistor Logic

VAX Virtual Address eXtension

ZIF Zero Insertion Force



Prefazione

Negli ultimi cinquanta anni, la tecnologia utilizzata in ambito informatico ed elettronico ha subito una notevole evoluzione. Questo cambiamento ha influenzato in modo consistente anche i supporti sui quali viene conservato il *logicale*¹, ovvero tutta la parte software in un computer. Nella trattazione seguente andremo ad analizzare nel dettaglio questi supporti, il loro funzionamento e le relative tecniche di conservazione dei dati. Verrà analizzata anche la parte relativa al firmware dei primi calcolatori, con lo scopo della conservazione e dell'emulazione di alcuni computer storici che hanno contribuito all'evoluzione dell'informatica personale. Queste argomentazioni verranno consolidate dall'esperienza svolta presso il Centro di Sonologia Computazionale dell'Università degli Studi di Padova durante il periodo di tirocinio. Durante il percorso di stage sono stati restaurati alcuni calcolatori del CSC, con particolare attenzione al PDP-11/34A della Digital Equipment Corporation (DEC), che negli anni ottanta hanno fornito un notevole contributo all'evoluzione della *computer music* a livello internazionale.

¹Logicale: termine utilizzato negli anni '70 nei manuali italiani di calcolatori per indicare la parte software di un elaboratore. Deriva da una traslitterazione del termine francese "logiciel".

1.1 IL CENTRO DI SONOLOGIA COMPUTAZIONALE DI PADOVA

A partire dalla metà anni sessanta presso il dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica dell'Università di Padova, vennero utilizzati da un gruppo di ricercatori degli elaboratori elettronici con il fine di condurre ricerche sulla sintesi vocale. Il team guidato da Giovanni Battista Debiasi, decise di espandere il proprio campo di ricerca all'introduzione del calcolatore elettronico nell'ambito musicale. Nacque così una proficua collaborazione con il Conservatorio "Cesare Pollini" di Padova, che rese l'Ateneo Patavino uno fra i più importanti centri di ricerca e produzione di quella che prese il nome di *computer music*.

Gli strumenti a disposizione all'epoca erano i calcolatori *mainframe*, ovvero computer a elevate prestazioni dotati di unità di calcolo in grado di svolgere milioni di istruzioni al secondo. Presso il Centro di Calcolo di Ateneo era disponibile un mainframe IBM S/370 che venne utilizzato dal ricercatore Graziano Tisato per i primi esperimenti sulla sintesi della voce. In particolare si concentrò sulla dizione e intonazione della frase riprodotta utilizzando anche il calcolatore PDP-11 che venne acquistato negli anni successivi.

La fondazione del CSC avvenne nel 1979 con direttore Giovanni Battista Debiasi, che commissionò l'acquisto del minicomputer PDP-11. Lo stesso Debiasi realizzò un organo elettronico basato su un suo brevetto tedesco del 1957 che venne con il passare degli anni perfezionato (v. fig. 1.1).

Negli anni 80 il CSC collaborò con i laboratori IRCAM di Parigi, dove il fisico e inventore Giuseppe Di Giugno mise a punto una scheda elettronica, denominata *Processore Sonoro 4i* che rappresentò un'innovazione per la computer music a livello internazionale e prese parte nell'opera *Prometeo* di Luigi Nono, eseguita per la prima volta il 25 Settembre 1984 a Venezia. Il software di gestione e i programmi applicativi della 4i venivano fatti girare nel calcolatore DEC PDP-11 e furono scritti dalla ricercatrice Sylviane Sapis. La produzione musicale avveniva per interconnessioni di blocchi funzionali. Le singole funzioni, tipicamente non lineari, se abbinate a blocchi di filtraggio, reti di ritardo e altre funzionalità, consentivano la creazione di una vasta gamma di suoni. [11]



Figura 1.1: *L'organo elettronico realizzato da Debiasi*

IL CSC OGGI

Oggi un importante campo di ricerca del CSC consiste nella conservazione attiva e restauro delle registrazioni musicali memorizzate su supporti analogici, la cui aspettativa di vita è breve. Con lo scopo di attuare un trasferimento tecnologico nel territorio è nata nel 2013 AudioInnova srl: uno spin-off del CSC con sede a Padova dedicato allo sviluppo di nuove tecnologie software volte alla conservazione di beni culturali musicali, e in particolare alle installazioni artistiche interattive. Le attività di ricerca del CSC includono la produzione di Nuova Musica, sistemi software per l'esecuzione automatica espressiva della musica e la realizzazione di installazioni con l'obiettivo di aiutare persone con disabilità a orientarsi nello spazio, grazie alla comunicazione audio non verbale.

1.2 NOZIONI STORICHE

La nascita del primo personal computer ha luogo in Italia a seguito dell'idea pionieristica di un team di ingegneri del gruppo Olivetti: Pier Giorgio Perotto, Gastone Garziera, Giovanni de Sandre e Giancarlo Toppi. Questo calcolatore, classe 1966, venne venduto con il nome di *Programma 101* (v. fig. 1.2). Il com-

1.2. NOZIONI STORICHE

puter dalle sembianze di una calcolatrice da tavolo, era in grado di fare ben più delle classiche operazioni disponibili su una qualsiasi calcolatrice dell'epoca: era infatti in grado di svolgere operazioni logiche, confronti tra registri di memoria e molto altro. I risultati venivano poi stampati su un rotolo di carta da 90mm. I programmi applicativi potevano essere caricati da un supporto magnetico flessibile: le cartoline magnetiche. Queste venivano lette dalla macchina in una frazione di secondo, dopo il quale il programma era già disponibile in memoria per essere eseguito. Era inoltre possibile per l'utente scrivere un programma per una determinata esigenza di calcolo che poteva poi venire salvato su una o più di queste cartoline magnetiche. Possiamo pensare a questi supporti come primissime memorie di massa utilizzate nell'ambito dell'informatica personale.



Figura 1.2: *Due Olivetti Programma 101 - Collezione Liberalato*

I personal computer e in particolare gli home computer, ottennero grande successo a fine anni settanta quando l'informatica iniziò a diffondersi anche nelle case. Molte aziende iniziarono ad adottare un personal computer, principalmente con l'obiettivo di gestire la contabilità aziendale. La necessità di memorizzare grandi moli di dati (si pensi ad esempio all'inventario di un magazzino o al salvataggio di partiture musicali realizzate da un compositore) richiedeva una maggiore flessibilità dei supporti di memorizzazione, in particolare una maggiore capacità in bit.

I FLOPPY DISK

Vennero quindi introdotti i primi floppy disk, dei dischetti in mylar ricoperti di materiale magnetico (ossido di ferro) del diametro inizialmente di 8 pollici e contenuti in una custodia in cartoncino. Con il passare degli anni e l'evolversi della tecnologia vennero introdotti i floppy da 5"25 pollici: dei dischetti dal diametro minore rispetto i predecessori da 8 pollici, con l'obiettivo di rendere più ergonomico il calcolatore in termini di spazio garantendo comunque la capacità di memorizzazione dei dati seppur in una superficie ridotta. Questo tipo di dischetti fu quello che riscosse una maggiore vendita negli anni ottanta. Vi erano già da metà anni ottanta dei floppy disk da 3 pollici, ma vennero implementati solo in pochissimi personal computer dell'epoca, tra i quali possiamo citare il PC inglese *Tatung Einstein* e il computer *Amstrad CPC6128* del 1985. L'ultima evoluzione dei floppy disk furono i dischi da 3"5 pollici, diffusi già a fine anni ottanta e presenti su praticamente ogni sistema informatico negli anni novanta.

IL FIRMWARE

L'aspetto del firmware (codice interno al personal computer per gestire le procedure di inizializzazione e avvio) ebbe un'evoluzione leggermente differente: si mantenne per svariati anni, indicativamente dagli anni settanta fino a metà anni novanta, l'uso di memorie di sola lettura (ROM) programmate con il codice necessario. Solo a metà anni novanta vennero introdotte delle memorie cosiddette FLASH, riprogrammabili elettricamente e più capienti delle ROM. L'obiettivo di questi supporti, disponibili sottoforma di circuito integrato, era quello di conservare un insieme di istruzioni per il calcolatore indispensabili al funzionamento dello stesso e che non venissero perse una volta tolta l'alimentazione.

Un obiettivo analogo era imposto ai floppy disk piuttosto che alle cartoline magnetiche: conservare dei programmi o dei dati nel tempo per renderli fruibili all'utente qualora questo ne avesse bisogno.



Importanza della Conservazione

Questi dispositivi erano in uso oltre quarant'anni fa e la garanzia di chi vendeva i floppy disk in merito alla loro possibilità di conservare i dati nel corso del tempo era limitata ad alcune decine di anni.

Al giorno d'oggi può essere utile per qualche utente che negli anni ottanta utilizzava un personal computer per studio o lavoro, per un'azienda o addirittura un archivio avere la possibilità di poter accedere nuovamente ad alcuni dati presenti su un floppy dell'epoca.

Alcune problematiche possono insorgere nella mancanza del particolare personal computer con cui è stato scritto il dischetto all'epoca; che comunque non risulta essere una soluzione efficiente anche nel caso tale computer sia ancora presente e funzionante.

CONSERVAZIONE PASSIVA

Un'altra problematica è invece a livello materiale, ovvero lo stato di conservazione del floppy. Si parla di conservazione passiva o preventiva riferendosi all'insieme di procedure per la conservazione fisica del supporto a lungo termine, garantendo quindi un ambiente ottimale (ad es. temperatura controllata) privo di sollecitazioni che possano danneggiare il supporto. [6] Si pensi ad esempio che il dischetto sia stato conservato in un luogo umido, polveroso, e che questi fattori lo influenzino direttamente intaccando la sua superficie: un problema risolvibile operando un'accurata pulizia, ma nel quale sarebbe deci-

samente meglio evitare di imbattersi.

Il problema più grave rimane comunque l'esposizione del dischetto a sollecitazioni magnetiche: queste possono danneggiare pressoché irrimediabilmente i dati contenuti in esso e può risultare critico tentare di ricostruirne il contenuto.

CONSERVAZIONE ATTIVA

Lo scopo della conservazione attiva è orientato alla conservazione dell'informazione contenuta nel supporto fisico salvaguardato dalla conservazione passiva. L'obiettivo principale di questo processo è quello della digitalizzazione dei contenuti del supporto, con lo scopo di rendere dati prima difficilmente accessibili disponibili su dispositivi moderni per studio e divulgazione scientifica e storica. [6]

Mediante la conservazione dei dati da un floppy (che verranno poi riversati su un PC moderno in un opportuno formato (v. cap. 5) e da una o più memorie ROM contenute in un particolare personal computer anni '70-'80-'90 è possibile emulare il computer in questione, ovvero averne una versione completamente utilizzabile in modo fedele all'originale basata sull'hardware di un PC moderno. Questo può sicuramente avere un'utilità didattica oltre che storica, aiutando a capire come funzionava un personal computer all'epoca, un suo particolare linguaggio di programmazione, contribuendo così a ricordare elaboratori che con il tempo rischiano di essere dimenticati.

3

Tipologie di Supporti

3.1 SCHEDE PERFORATE E NASTRO PERFORATO

Schede e nastri perforati sono un primo esempio di supporto di memorizzazione dati. La loro origine non fu inizialmente legata al mondo informatico.

I primi esemplari di nastro perforato arrivano dal mondo della musica, per la precisione dagli organi automatici a cilindro realizzati a partire dal 1400.

L'elemento chiave dello strumento era il cilindro rotante dal quale fuoriuscivano dei pioli posti in una posizione fissa ben precisa dello stesso. Una volta messo in rotazione il cilindro rispetto al proprio asse, con velocità costante, questi andavano a comandare le varie canne dell'organo riproducendo quindi il brano desiderato, unico per ciascun cilindro.

Per costruire i cilindri venivano preparate delle matrici in carta con dei fori, che avvolte sulla superficie esterna del cilindro indicavano i punti dove eseguire i fori per inserire poi i pioli. Il francese Bauchon, figlio dell'inventore, intuì che l'informazione necessaria era già contenuta nella matrice di carta perforata ed utilizzò questo supporto per la realizzazione dei suoi telai tessili automatici.

In queste macchine i fori sul nastro consentivano una parziale automatizzazione del ripetitivo lavoro di tessitura e permettevano di creare tele con disegni difficilmente realizzabili a mano. L'assistente di Bauchon perfezionò in seguito la macchina sostituendo il nastro perforato con una serie di schede forate unite tra loro in sequenza: nacquero così le schede perforate.

La loro prima applicazione ingegneristica avvenne a metà ottocento, quando

3.1. SCHEDE PERFORATE E NASTRO PERFORATO

l'ingegnere inglese Alexander Bain ebbe l'idea di utilizzare un nastro in cartoncino per memorizzare una sequenza ricevuta in codice Morse.

Il sistema telegrafico registrava inizialmente l'informazione su una striscia di carta chimica. Notando che questa soluzione risultava poco efficiente, specialmente in caso di elevate velocità di ricezione del codice, decise di sostituirla con un cartoncino che veniva appositamente inciso per distinguere "punti" e "linee" costituenti il codice ricevuto.

L'idea venne ripresa nel 1857 da Wheatstone che la implementò per la sua macchina telegrafica automatica. Per archiviare le informazioni Morse-codificate su nastro decise di utilizzare tre fori posizionati su "n" tracce, distribuite attraverso la lunghezza del nastro. La scelta dei tre fori deriva dal fatto che tre sono gli elementi chiave dell'alfabeto Morse: punto, linea, spazio. Essendo che ciascuna lettera per essere codificata richiede più di un punto o linea, ogni carattere andava ad occupare più linee di un nastro. La versione che ebbe maggior diffusione trasformava la fila centrale dei fori in una sequenza continua, rendendo possibile il suo utilizzo per il trascinamento del nastro. L'indicazione di "spazio" era contenuta nella mancanza degli altri due fori, il cui utilizzo era rispettivamente la codifica del "punto" e la codifica della "linea" (v. fig. 3.1).

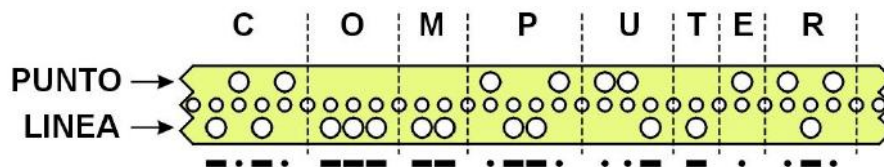


Figura 3.1: Schema Punti / Linee - Luigi Serrantoni

I nastri potevano essere preparati anche da chi intendeva trasmettere un messaggio che veniva poi processato e inviato dal telegrafo. Esisteva infatti un dispositivo, denominato *perforatrice meccanica* (*Morse Paper Tape Puncher*), che tramite tre tasti consentiva la codifica di punto, linea e spazio, andando ad applicare i rispettivi fori sul nastro. In caso di spazio tra un carattere e l'altro la macchina andava ad applicare il solo foro centrale.

La codifica in Morse risultava laboriosa ed era molto facile commettere errori di battitura, alterando quindi il carattere. Per questa ragione l'inventore canadese Frederick George Creed studiò un dispositivo che potesse accettare in ingresso direttamente i caratteri dell'alfabeto, per procedere poi alla codifica: questo

macchinario prese il nome di *telescrivente*.

Anche il destinatario del messaggio lo riceveva direttamente in formato testuale, senza dover operare una decodifica.

Il codice Morse con il passare degli anni si rivelò poco efficiente alla trasmissione con telegrafi automatici. Nel 1870 il francese Émile Baudot introdusse un nuovo sistema di codifica che al giorno d'oggi porta ancora il suo nome. La codifica prevedeva l'invio dei messaggi tramite 5 linee dati [7], ovvero una codifica dei caratteri su 5 bit, secondo il seguente schema (v. fig. 3.2):

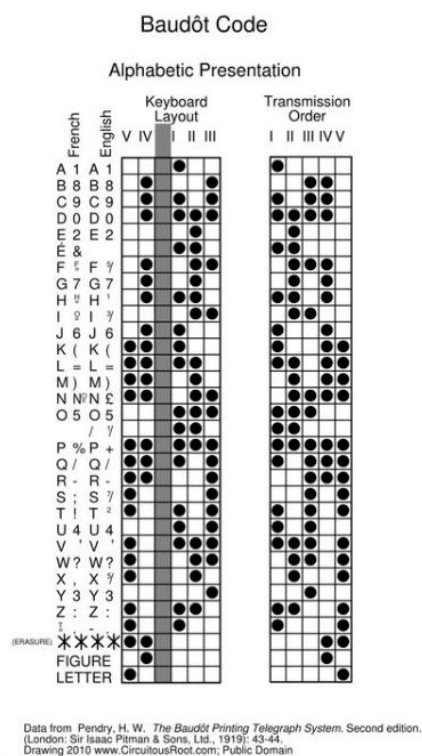


Figura 3.2: Il codice di Baudot - www.CircuitousRoot.com

La macchina ideata da Baudot prevedeva che l'operatore inviasse il messaggio tramite l'azione su 5 tasti diversi, uno per ciascuno dei 5 "bit".

Questa soluzione si rivelò inizialmente inefficiente, in quanto spesso la trasmissione dei messaggi da parte degli operatori era errata, per via del numero maggiore di linee dati da impostare di volta in volta rispetto al codice Morse. Un'ulteriore difficoltà era legata alla velocità di trasmissione della macchina di Baudot, che limitava l'invio a sole 30 parole al minuto.

Nel 1901 l'inventore neozelandese Donald Murray decise di ispirarsi al codice

3.1. SCHEDE PERFORATE E NASTRO PERFORATO

di Baudot per la sua *macchina perforatrice*, che era in grado di accettare un testo digitato su una tastiera alfanumerica per produrre poi un nastro perforato con codifica in Baudot modificato, che poteva essere utilizzato per trasmettere il messaggio tramite un secondo macchinario. La modifica al codice Baudot effettuata da Murray prevedeva l'ottimizzazione del codice stesso, con il fine di evitare un'eccessiva usura della *punzonatrice* e rotture del nastro dovute ad un numero eccessivo di fori: decise di assegnare alle lettere più utilizzate una codifica con numero di fori minore.

A seguito della invenzione di Murray nacquero le telescriventi ASR, note anche come *Teletype Automatic Send Receive*. Con questi dispositivi il testo poteva essere inviato e ricevuto in formato testo alfanumerico e i messaggi potevano essere salvati su nastro perforato a 5 fori con codifica derivata dal codice Murray, denominata *International Telegraphy Alphabet No. 2 (ITA2)*, standardizzato nel 1932 [9].

Il nastro utilizzato dalle Teletype era un 5 canali con larghezza di 11/16 di pollice (17,46 mm) e fu utilizzato per decenni dalla maggior parte delle telescriventi in commercio. Per gestire il trascinamento il nastro presentava una fila di fori continua, con fori di dimensione minore dei 5 fori di codifica.

Questi fori di avanzamento del nastro erano posti in posizione non centrale per evitare di inserire il nastro capovolto. Occorreva inoltre fare attenzione al verso di inserimento del nastro: per questo motivo gli operatori erano soliti a sagomare a triangolo l'estremità di inserimento corretta del nastro, mediante l'uso di una forbice.

A partire dalla fine degli anni cinquanta del novecento, il nastro perforato venne utilizzato anche nei calcolatori digitali.

Tra i computer di fine anni sessanta che utilizzavano il nastro perforato vi è l'Honeywell H316 (1969), un calcolatore rack-mounted noto per essere la macchina sulla quale è stato sviluppato il linguaggio FORTH e tramite la quale si sono sviluppate le prime applicazioni di ARPANET (utilizzando H316 come Interface Message Processor) che si evolverà poi in Internet.

L'H316 disponeva di una unità esterna per la lettura del nastro perforato: l'Honeywell Model 5082. Questo dispositivo era in grado di leggere nastro a 8 canali dove ciascuno di essi era associato ad un bit che poteva variare.

E interessante analizzare il funzionamento di questo sistema di lettura (v. fig. 3.3).



Figura 3.3: *Il lettore Honeywell 5082 - Collezione Liberalato*

La sezione di lettura è composta da 8 diodi ad emissione luminosa posti di dirimpetto a 8 fototransistor. Il nastro perforato viene fatto scorrere tra questi due gruppi, grazie ad un meccanismo motorizzato che ne consente l'avanzamento. In diversi modelli di lettori l'avanzamento avveniva mediante dei fori di ancoraggio (pallini neri - v. fig. 3.4).

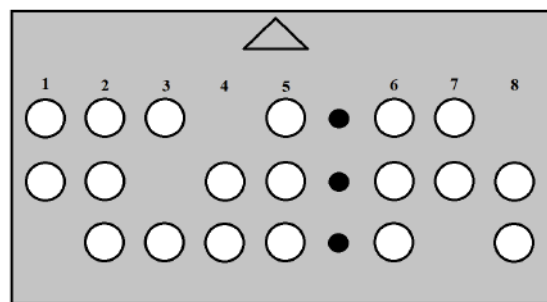


Figura 3.4: *Esempio di nastro perforato a 8 canali*

La mancata presenza di un foro in uno o più degli 8 canali del nastro impedisce al fascio luminoso di raggiungere il fototransistor corrispondente e quindi codifica uno zero logico, mentre la presenza del foro codifica un uno logico nella corrispondente posizione. Questi nastri presentavano una lunghezza con-

3.2. CARTOLINE MAGNETICHE

siderevole e venivano spesso utilizzati per caricare compilatori di linguaggi di programmazione, come ad esempio FORTRAN IV per l'Honeywell H316.

3.2 CARTOLINE MAGNETICHE

Le cartoline magnetiche sono un supporto magnetico flessibile per la memorizzazione di una sequenza di operazioni da impartire ad un calcolatore. Furono introdotte nel progetto della Olivetti *Programma 101* con l'obiettivo di memorizzare una sequenza di passi elementari avente lo scopo di risolvere un determinato problema matematico piuttosto che statistico o logico.

Era sufficiente inserire la cartolina magnetica nella fessura di lettura e pochi istanti dopo il programma era già disponibile per l'esecuzione. Il programma desiderato era selezionabile azionando uno dei tasti "label" della macchina, identificati rispettivamente dalle lettere V, W, Y, Z. Questa possibilità anticipa il concetto di "app", ormai noto e diffuso ai giorni nostri.

La cartolina magnetica si presenta come un rettangolo 24cm x 7cm realizzato in mylar sul quale è stato depositato dell'ossido di ferro su uno solo dei due lati. Il lato non ricoperto veniva tipicamente utilizzato per riportare a matita la funzione dei programmi in essa contenuti.

Questo lato, tipicamente ricoperto di smalto bianco, doveva essere rivolto verso l'operatore affinché l'inserimento della cartolina fosse corretto.

L'effettiva memorizzazione dell'informazione avveniva lungo le due estremità del rettangolo costituente la cartolina, come illustrato nella figura 3.5.

E' immediato notare che i possibili versi di inserimento validi della cartolina sono 2, infatti sono due le tracce ai lati della cartolina dove è possibile depositare istruzioni per la P101. La testina di lettura nella *Programma 101* è unica, quindi può leggere una sola delle due tracce per volta, a seconda del verso di inserimento della cartolina magnetica.

La capacità massima di memorizzazione di questi supporti era di 1920 bit.

Tipicamente si tendeva a registrare due programmi per ogni cartolina, uno per ciascuna traccia. Vi erano applicazioni più complesse, ad esempio il calcolo di un logaritmo o di un'arcotangente di un angolo, che richiedevano un numero di istruzioni maggiore della capacità di una singola cartolina. In questo caso il programma poteva essere continuato su una seconda cartolina e qualora lo spazio non fosse ancora sufficiente su una terza e così via.

Per poi caricarlo in memoria all'occorrenza era necessario rispettare l'ordine di

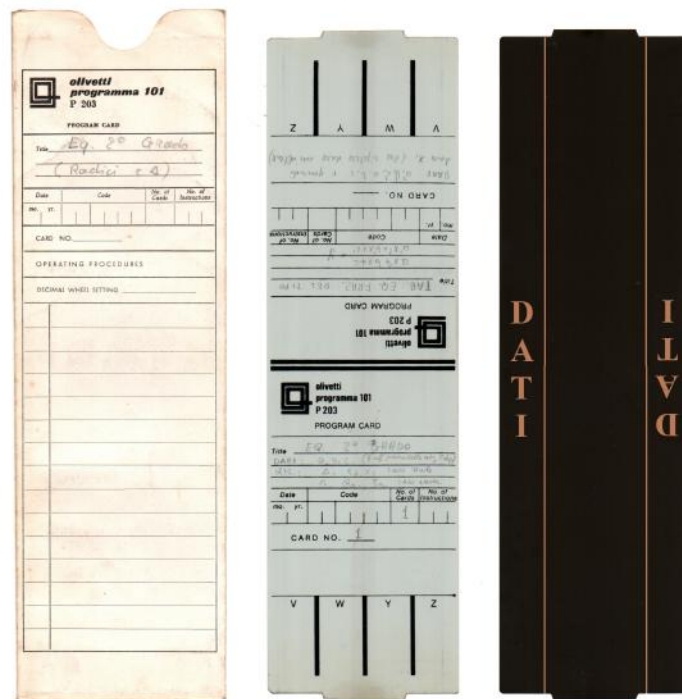


Figura 3.5: Una cartolina magnetica con custodia.

inserimento delle cartoline, analogamente a quanto avveniva con le schede perforate.

L'avanzamento delle cartoline, fino alla loro espulsione a lettura completata, era gestito dal motore principale della Olivetti P101, il quale grazie all'azionamento di due rulli in gomma riusciva a garantire il trascinarsi esponendo alla testina di lettura sezioni diverse della traccia.

Le cartoline potevano essere programmate dall'utente con l'applicazione da lui desiderata o con alcuni programmi di esempio riportati nel manuale della P101. Era comunque possibile in ogni momento stampare la lista di istruzioni contenute su carta, per analizzare i singoli passi elementari di calcolo.

Questo genere di supporti venne utilizzato non solo nella *Programma 101* e successori (P652, ecc.) ma anche in altri calcolatori, ad esempio nella *HP-9100* e nella *Burroughs C-7203*.

Una variante particolare delle cartoline magnetiche venne adottata sempre da Olivetti per le sue macchine contabili serie *Audit-5*. Queste erano realizzate in cartoncino con una banda magnetica da un lato ed erano in grado di memorizzare 256 byte d'informazione.

3.3 OLIVETTI MINIDISCO

Nel 1977 la Olivetti di Ivrea (TO) introdusse sul mercato un nuovo calcolatore programmabile, la Olivetti *P6040* (v. fig. 3.6), nata come successore dei computer *P6060* del 1975 e del *P6066* (upgrade del *P6060*).

In particolare il *P6060* è storicamente rilevante in quanto è il primo personal computer ad integrare una unità floppy (da 8 pollici).

Per la *P6040* venne previsto un nuovo sistema per l'archiviazione dei dati: il *minidisco*. Questo era un supporto circolare in mylar con diametro di 6.5cm, con un piccolo foro centrale e uno strato di materiale magnetico depositato solo da un lato.

La capacità di memorizzazione era di soli 3KB di dati. L'organizzazione dei dati scritti seguiva un'unica traccia a spirale che terminava in prossimità del foro di ancoraggio alla puleggia. L'accesso alle informazioni e la scrittura delle stesse avveniva in modo simile a quello di una audiocassetta. L'accesso era sequenziale, ovvero era necessario scorrere la traccia a spirale fino al punto dove il dato da caricare era stato salvato.

Può essere pensata un'analogia con i noti dischi in vinile. E' interessante segnalare in merito a questi supporti audio che trovarono alcune applicazioni anche in ambito informatico: la rivista *Elektor* rilasciò del software per il loro sistema *TV Computer Games 2650* proprio su un disco vinile da 45 RPM.

I *minidisk* vennero perfezionati all'interno di Olivetti e utilizzati in seguito anche nei loro sistemi di videoscrittura *TES 401* e nei calcolatori Olivetti serie BCS, ad esempio sul *BCS 2030*. In questi sistemi, i *minidisk* raggiunsero una capacità di memorizzazione di 7.5KB.

Tuttavia non ottennero larga diffusione e il loro utilizzo fu limitato alle macchine sopracitate.

3.4 I FLOPPY DISK

I floppy disk sono supporti magnetici per la memorizzazione di dati e istruzioni eseguibili da un personal computer.

Si presentano come un disco di materiale ferromagnetico con un foro al centro: questo serve per ancorare il disco ad una puleggia che fa ruotare il dischetto con moto circolare uniforme ad un numero di giri prefissato. Questo disco era al-



Figura 3.6: *Una Olivetti P6040 - Collezione Liberalato*

loggiato in un contenitore quadrato con un foro centrale realizzato in cartoncino (nei primi esemplari prodotti).

Per garantire la lettura dei dati per mezzo una "testina di lettura" era necessario inoltre che ci fosse una apertura ovale lungo il raggio del disco da ambo le facce del floppy, per porre a contatto la testina con la superficie magnetizzata.

Vennero ideati dagli ingegneri della IBM (nota per i mainframe *System 360/370* e per aver introdotto lo standard ISA per le schede di espansione del loro *PC 5150*) nel 1967 come unità di memorizzazione alternativa alle cartoline magnetiche utilizzate nel primo desk-top computer al mondo, la Olivetti P101.

I FLOPPY DA 12 POLLICI

Le prime versioni avevano un diametro di 12 pollici ed erano disponibili per solo uso interno alla IBM stessa e alla Burroughs per caricare il microcodice di boot dei loro calcolatori. Venivano utilizzati in blocchi da 256 unità inserite su un'asse: il disco selezionato per la lettura veniva separato dagli altri tramite un rapido getto d'aria, per permettere alla testina di lettura mobile di accedere al floppy.

3.4. I FLOPPY DISK

I FLOPPY DA 8 POLLICI

La nascita dei floppy disk da 8 pollici (20cm di diametro) (v. fig. 3.7) avvenne in seguito alla necessità della IBM di avere un sistema di caricamento del microcodice per il loro calcolatore commerciale *System 360*, che fosse più flessibile del caricamento mediante nastro magnetico e avesse un costo contenuto. Inizialmente erano dei supporti di sola lettura dalla capacità non superiore a 80KB.

Solo a partire dal 1973 il supporto venne perfezionato per garantire la possibilità di scrittura di dati. Una prima implementazione fu il terminale per data entry IBM 3740 utilizzato con il System 370, per salvare informazioni in uno spazio di 256KB per disco.

La prima integrazione di unità floppy a 8 pollici avvenne sul personal computer italiano Olivetti P6060 del 1975. L'utilizzo di questi dischetti venne mantenuto per alcuni anni a seguire, implementato principalmente in macchine CP/M, prima del passaggio ai floppy disk da 5.25 pollici .



Figura 3.7: Un drive BASF 6104 con un disco da 8 pollici

I FLOPPY DA 5.25 POLLICI E DA 3.5 POLLICI

I floppy disk da 5.25 pollici furono il formato più utilizzato, grazie anche alla massiva diffusione dei PC IBM e compatibili nelle aziende, nelle scuole e negli uffici.

La capacità poteva variare da un minimo di 160KB ad un massimo di 1.2MB a seconda della formattazione: nei PC XT IBM valeva massimo 360KB, mentre nei PC AT IBM 1.2MB.

Con formattazione si intende il processo che predispone il floppy disk all'uso in un determinato calcolatore. Un floppy disk vergine presenta una distribuzione caotica della magnetizzazione sulla sua superficie: con la formattazione si crea un'organizzazione della superficie magnetica che ne delimita i settori. Di questi particolari si parlerà in dettaglio al capitolo 4.

L'ultima evoluzione dei floppy disk furono i dischi da 3.5 pollici, comunemente chiamati "diskette". Questi a differenza dei predecessori non presentavano una custodia "flessibile", bensì un involucro di plastica rigida. Non vi era più un foro per l'ancoraggio alla puleggia di rotazione ma avveniva un aggancio direttamente sulla parte inferiore del disco. La capacità di memorizzazione per questi supporti arrivava fino ad un massimo di 2.88MB.

MAGNETIC TAPE DATA STORAGE

Un ultimo esempio di supporto magnetico sono le cosiddette "Data Cartridge Tapes". Queste discendono direttamente dalle bobine di nastro magnetico utilizzate già a metà degli anni cinquanta per i primi mainframe realizzati a valvole.

Il loro utilizzo si protrasse anche negli anni sessanta e venne implementato un lettore di bobine a 9-tracce sull'*IBM System 360* in grado di supportare la codifica di caratteri ad 8 bit.

Le Cartridge Tapes si diffusero a partire dagli anni settanta. Erano contenute in un contenitore plastico rigido con la possibilità di accedere alla superficie del nastro in una zona prestabilita. Nell'estremità superiore del contenitore vi era un *capstan*, ovvero un dispositivo che consentiva ad un rullo presente nel lettore (*pinch-roller*), ad esso aderente, di far scorrere il nastro per garantire la lettura sequenziale dei dati contenuti. La tecnica di avvolgimento del nastro garantiva che una volta terminato lo scorrimento completo della sua lunghezza questo ripartisse dalla posizione iniziale. Per questa caratteristica vennero denominate

3.4. I FLOPPY DISK

endless tape cartridge.

Un esempio di questi supporti sono le DC-100, introdotte a partire dal 1976 dalla Hewlett Packard per il loro calcolatore algebrico programmabile HP-9820. Queste erano derivate dalle DC-300 introdotte da 3M nel 1972, conosciute anche con il nome di *Quarter Inch Cartridges (QIC)*.

La Digital Equipment Corporation (DEC) utilizzò questi supporti nei suoi minicomputer *MicroVAX*, mentre per i calcolatori PDP-11 e VAX-11 erano previste delle unità denominate *DEC MagTape* che utilizzavano un sistema a nastro personalizzato nel formato.

Nella figura 3.8 è riportato un esempio ulteriore di Data Cartridge Tape, la DC-6150 di 3M. Questa era in grado di memorizzare un massimo di 150MB di dati per un nastro di lunghezza 189mt. Veniva utilizzata in abbinamento a calcolatori IBM per avere copie di backup degli hard-disk di tali macchine.



Figura 3.8: La DC-6150 Data Cartridge Tape di 3M

4

Organizzazione dei Floppy Disk e Formati

L'organizzazione dei dati nei floppy disk segue lo schema che identifica la presenza di due elementi chiave: le tracce e i settori.

Quest'ultimi si caratterizzano da una prestabilita capacità di memorizzazione in byte, che può assumere i valori tipici di 128, 256, 512 e 1024 bytes.

Questi settori possono corrispondere ad aree prestabilite della superficie magnetica del dischetto, qualora si abbia corrispondenza tra settori logici e fisici.

Le tracce possono essere pensate come un insieme di circonferenze con spessore di bordo ben definito, concentriche e con raggio progressivamente decrescente man mano che ci si avvicina al foro di ancoraggio del floppy disk alla puleggia del lettore. Ciascuna delle "n" tracce è suddivisa in "m" settori. Inoltre la densità delle tracce aumenta tanto più la testina di lettura si avvicina al foro di rotazione.

L'illustrazione grafica (v. fig. 4.1) espone nel dettaglio questi concetti.

Un'importante caratteristica associata alla capacità di immagazzinare informazioni a livello magnetico sul floppy è legata alla densità del disco.

Essa dipende a sua volta da altri parametri, quali il formato (FM, MFM, ecc.) usato nella scrittura del disco e la densità di tracce espressa in TPI. Quest'ultima rappresenta un'indicazione di massima del numero di tracce da distribuire nel raggio di un pollice (2,54cm) della superficie del disco in modo da garantire una distribuzione ottimale dell'informazione.

Per avere un'indicazione dell'effettiva quantità di informazione memorizzata

4.1. FORMATI DI CODIFICA

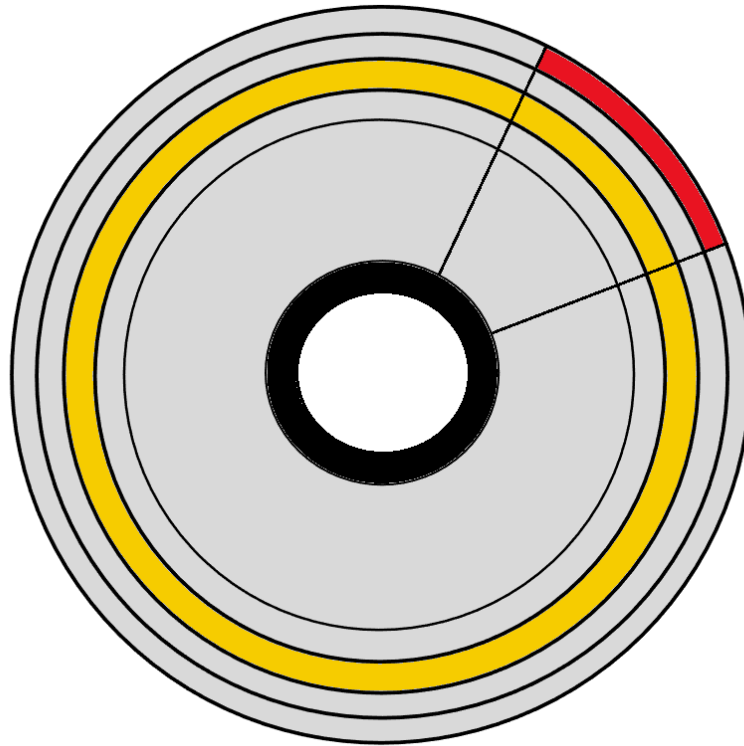


Figura 4.1: *La suddivisione in tracce (giallo) e settori (rosso)*

sul dischetto è sufficiente effettuare il seguente calcolo, assumendo che tutti i settori abbiano la stessa capacità:

$$\text{Capacità} = \text{numero tracce} * \text{numero facce} * \text{numero settori} * \text{capacità di un settore}$$

ESEMPIO: 80 tracce, floppy double side, 9 settori da 512 bytes ciascuno = 737280 bytes

ESEMPIO: 77 tracce, floppy single side, 26 settori da 256 bytes ciascuno = 512512 bytes.

Quest'ultimo esempio è riferito a floppy disk scritti su un drive di un PDP11/34.

4.1 FORMATI DI CODIFICA

Il funzionamento di un floppy disk prevede che venga alterato lo stato di magnetizzazione del materiale che ne ricopre la superficie. In particolare per ogni variazione di magnetizzazione nell'area sottoposta all'azione della testina

di lettura verrà prodotto un impulso. Un treno di impulsi, se analizzato in modo opportuno, può rappresentare un'informazione in formato digitale.

Un aspetto essenziale da considerare quando si tratta l'argomento "floppy disk" è il tipo di formato con cui è stato scritto il disco [8], ovvero le tecniche utilizzate per il trasferimento di queste informazioni digitali sul suo supporto fisico.

4.1.1 IL FORMATO FM

Un primo formato importante da considerare è il formato FM, acronimo di *Frequency Modulation*.

Questa tecnica utilizza una schema di codifica digitale a modulazione di frequenza. Prevede una codifica binaria dell'informazione dove i dati da scrivere sono intervallati da un segnale di clock (v. fig. 4.2).

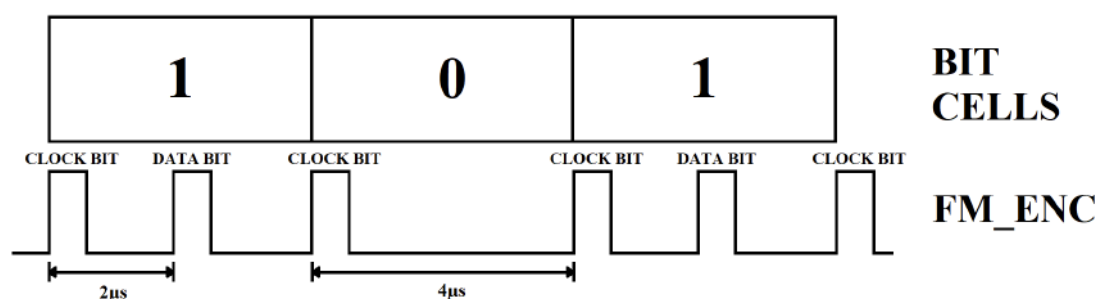


Figura 4.2: Il formato di codifica FM

Viene posto un bit di transizione del clock davanti ad ognuno dei bit costituenti i dati. E' immediato notare che l'aggiunta del segnale di clock riduce la velocità di trasferimento sul disco, che per FM vale 250Kbit/s. E' necessario che il flusso dati avvenga ad una velocità non superiore a 125Kbit/s.

Questo metodo, pur costituendo una semplice implementazione di un sistema di lettura e scrittura di un floppy disk, utilizza per contro metà dello spazio disponibile su disco, dimezzandone la capacità. I floppy disk che implementano questo formato sono denominati *single-density*.

4.1.2 IL FORMATO MFM

Questo sistema di codifica (*Modified Frequency Modulation*) rappresenta un'evoluzione rispetto al formato FM. La tecnica consente di ridurre drasticamente

4.1. FORMATI DI CODIFICA

il numero di bit di clock, organizzando le celle composte da bit di clock e bit del dato come riportato nella tabella di figura 4.3. E' immediato notare come la

BIT DATO	CODIFICA	
1	01	Sempre
0	10	Se preceduto da 0
0	00	Se preceduto da 1

Figura 4.3: Il formato di codifica MFM

codifica di un bit di dati "0" possa avere due rappresentazioni, a seconda che questo sia preceduto da uno "0" oppure da un "1".

Questo significa, in riferimento alla tabella, che ogni bit di dati viene codificato con al più una variazione della magnetizzazione che viene individuata da un 1 nella codifica.

Questa tecnica consente di scrivere un disco floppy sfruttando a pieno la sua capacità di memorizzazione, con una frequenza di registrazione doppia rispetto il formato FM, ovvero 500Kbit/s.

I floppy disk che implementano questo formato sono denominati *double-density*. E' stato il formato più diffuso nei floppy disk a partire dagli anni 80.

4.1.3 IL FORMATO GCR

Il formato GCR è stato utilizzato da Commodore e da Apple, per il suo computer *Apple II*.

Il formato prevede la codifica dei dati per *nibble*, ovvero gruppi di 4 bit, da qui l'acronimo *Group Code Recording (GCR)*.

Questi vengono codificati con 5 bit secondo uno schema che prevede che non vi siano più di due bit "0" adiacenti e non più di 8 bit di valore "1" adiacenti.

Questo schema (rif. a Commodore) risultò poco efficiente a livello di spazio richiesto su disco rispetto agli altri formati.

NOTA SUL SOFT-SECTOR

Il controller floppy, al momento della lettura di un disco, necessita di conoscere il punto in cui trovare un determinato dato. Per fare ciò risulta necessario

un riferimento sul quale basarsi. Questo veniva fornito da un piccolo foro circolare, denominato *index hole* in prossimità del foro di ancoraggio alla puleggia di rotazione. Nella meccanica del drive vi era una fotocellula che rilevava il passaggio del fascio luminoso in prossimità di questo foro.

Il floppy disk, ruotando, produceva un treno di impulsi sulla fotocellula, che veniva utilizzato come riferimento.

Alcuni computer quali ad esempio l'Apple II che utilizzava una versione proprietaria dello schema GCR, non facevano uso dell'*index-hole*.

Veniva infatti dedicata una sezione di ciascun settore per la memorizzazione di un parametro "indice". Queste sezioni presero il nome di *soft-sectors*. I floppy disk dove in corrispondenza della posizione d'inizio di ciascun settore era allocato un foro presero il nome di *hard-sectored*.

4.1.4 IL FORMATO M2FM

Il formato M2FM (*Modified Modified Frequency Modulation*) è simile al formato MFPM ma vengono eliminati i bit di clock aggiuntivi. In particolare viene inserito un impulso di clock solo tra una coppia di bit "0" adiacenti qualora il primo bit della coppia non presenti già un impulso di clock posto davanti ad esso. Questi impulsi vengono denominati *sync marks*.

NOTE AGGIUNTIVE

E' possibile recuperare floppy disk dove alcuni settori del disco sono formati con formato FM, mentre altri con formato MFPM. Inoltre in alcuni computer quali ad esempio l'Olivetti M20, il primo settore (128Byte) ha una capacità in byte diversa rispetto agli altri (256Byte). Analogamente i computer Atari (600XL, 800XL, ecc.) formattavano i primi 3 settori da 128Byte mentre da 256Byte i rimanenti.



Conservazione a Basso Livello di un Floppy Disk

Quando ci si pone il problema della lettura di un floppy disk, in modo particolare dei più recenti floppy da 3.5 pollici, si potrebbe pensare di inserire il dischetto in un vecchio PC (con processore Pentium, Pentium II) con installato un FDD apposito e tentare di prelevare i singoli file utilizzando le risorse di sistema per l'esplorazione del contenuto del floppy.

Questa tecnica risulta poco efficiente e in buona parte dei casi potrebbe non essere applicabile: infatti la riuscita dell'operazione appena illustrata dipende dal formato in cui il disco che si vuole leggere è stato scritto e dal file system.

Tipicamente si riuscirà a leggere un floppy disk in formato IBM MFM FAT12, ma non sarà invece possibile leggere un dischetto da 3.5 pollici formattato su Commodore Amiga in formato Amiga DOS per estrarne i file contenuti.

Una soluzione efficiente e molto utilizzata da chi si occupa di archiviare software proveniente da supporti floppy (da 3, da 3.5, da 5.25 e da 8 pollici) è quella di optare per la conservazione a basso livello del disco mediante l'utilizzo di specifiche schede elettroniche che verranno illustrate in seguito.

La testina magnetica di lettura di un floppy drive posizionandosi in corrispondenza di una traccia sul disco è in grado di rilevare impulsi corrispondenti ad una variazione del flusso magnetico. Queste variazioni di flusso (*flux reversals*) vengono racchiuse in un pattern, che mediante la scheda di acquisizione sarà trasferito sul PC host in un file in formato RAW. Verranno creati tanti file RAW

quante sono le tracce analizzate del disco.

Normalmente i drive floppy dispongono di due testine magnetiche di lettura, una per il side 0 e una per il side 1 (le due facce del disco): verrà quindi creata una sequenza di "n" pattern (con "n" numero di tracce) per ciascun lato (side) del disco.

Questa operazione consente di ottenere una copia esatta del disco a livello magnetico trasferita in formato digitale nella forma dei file RAW. Per alcune schede di acquisizione, il formato RAW può prevedere un unico file che contiene le informazioni sulla variazione di flusso magnetico per tutte le tracce, di entrambe le facce del floppy disk.

Il vantaggio principale è che la procedura di lettura non richiede di avere informazioni sul formato di scrittura del disco. Queste informazioni possono essere ottenute in un secondo momento processando i dati RAW mediante degli appositi software, quali ad esempio *HxCFloppyEmulator*: un valido strumento per ottenere informazioni non solo sul formato del disco ma anche per analizzarne nel dettaglio tracce e settori ed esportare un file di immagine del disco.

6

Strumenti per la Conservazione dei Floppy Disk

Al giorno d'oggi esistono diverse risorse sul mercato per poter conservare del software da floppy disk.

Queste sono sostanzialmente schede elettroniche appositamente progettate con lo scopo di interfacciare un lettore floppy (che è indispensabile per svolgere l'operazione di recupero dati) a un PC moderno sul quale poter trasferire e conservare in modo sicuro i dati presenti nel dischetto.

Queste schede montano un'interfaccia di comunicazione Shugart a 34 pin, che consente l'interfacciamento diretto con drive da 5.25 e da 3.5 pollici, mentre per collegare un drive da 8 pollici è necessario un apposito adattatore, del quale tratteremo in seguito.

Le principali alternative vengono illustrate in seguito:

6.1 KRYOFLUX

La scheda Kryoflux è un prodotto progettato e realizzato dalla Software Preservation Society: un'associazione che si occupa della conservazione di dati da floppy disk e nastri magnetici, con l'obiettivo di archiviare quanto più software possibile di vari PC che hanno fatto la storia (Commodore 64, Amiga, ecc.).

La KryoFlux è probabilmente la miglior soluzione per preservare il contenuto

6.2. GREASEWEAZLE

di floppy disk importanti data la sua elevata robustezza e affidabilità.

La lettura di un disco comporta il campionamento del flusso magnetico per ogni traccia del floppy stesso, creando a termine della lettura una cartella contenente un insieme di file "RAW" che possono essere processati da un software esterno alla GUI, quale ad esempio *HxCFloppyEmulator*, per creare un unico file "immagine" del disco.

Questa possibilità è contenuta anche nella GUI KryoFlux che, indicandole a priori a quale computer appartiene il disco letto (selezionandolo tra quelli presenti in un menu a tendina), riesce a verificarne i settori e creare un'immagine del floppy utilizzabile su un emulatore.

Se ad esempio il disco letto è quello di un Commodore 64, occorrerà selezionare dal menu a tendina la voce *CBM GCR Format*, ovvero si va a specificare che il disco è stato scritto con formato GCR. La GUI andrà a interpolare i dati del flusso magnetico con la conoscenza del formato, analizzando anche l'integrità di ogni settore e produrrà in uscita un'immagine del disco con estensione D64, che viene riconosciuta dall'emulatore del CBM 64.

La GUI include infine la possibilità di verificare il numero di cilindri del drive, e di creare un profilo di acquisizione del disco, specificando la dimensione dei settori (128bytes, 256bytes..), la velocità di rotazione della puleggia del drive, ecc.

La KryoFlux nasce per la conservazione e non risulta la scelta ottimale per la scrittura di un dischetto a partire da un'immagine di un altro floppy letto in precedenza, anche se questa possibilità è fornita dall'applicazione *Wildewutz*.

KryoFlux è di libero utilizzo per scopo privato, mentre per uso aziendale, musei ecc. è richiesto l'acquisto di una licenza d'uso [1].

6.2 GREASEWEAZLE

Greaseweazle è una serie di schede open-source realizzate dall'appassionato inglese Keir Fraser.

L'obiettivo di queste schede non è solo la conservazione di dischi, ma anche quello di garantire la possibilità di riscrivere un disco partendo da un'immagine disponibile.

Ne esistono tre tipologie principali: Greaseweazle F1, V4, F7.

La F1 è basata su hardware *STM32 Blue Pill* alla quale viene interfacciato diret-

tamente il drive, in diretto collegamento con i pin del microcontroller ST che gestisce la scheda (programmato con un apposito firmware).

La scheda V4 e la scheda F7 prevedono invece dei buffer tra le linee del microcontroller e l'interfaccia Shugart a 34 pin di collegamento del floppy drive: questo per consentire il collegamento di drive da 5.25 pollici più datati e soprattutto di drive da 8 pollici (tramite adattatore Shugart a 50 pin -> Shugart a 34 pin) [2].

Quest'ultimi drive richiedono delle correnti più elevate sulle linee di controllo per poter funzionare, correnti che però il solo microcontroller sulla scheda non riesce a fornire, da qui la necessità di interporre i buffer.

La Greaseweazle non prevedeva inizialmente un'interfaccia video grafica, ma solamente un prompt a riga di comando. Tuttavia vari gruppi di appassionati hanno creato due GUI diverse: la più versatile è *FluxMyFluffyFloppy*, che permette un completo controllo delle funzionalità della scheda anche senza conoscerne i comandi da prompt.

6.3 FLUXENGINE

Il FluxEngine è un'ulteriore alternativa economica per il recupero di dati e software dai floppy disk. Un punto di forza di questa scheda è il supporto di floppy disk di computer inusuali quali ad esempio macchine CP/M. Riesce infatti a leggere file system proprietari oltre che quelli standard di PC più comuni (IBM, Amiga, ecc).

Il processo di lettura avviene a basso livello, ovvero rilevando le transizioni di flusso magnetico.

L'hardware del FluxEngine è basato sulla scheda di sviluppo Cypress PSoC5LP CY8CKIT-059 (ARM Cortex M3) alla quale è sufficiente saldare un connettore IDE-34 maschio alle linee di pinout per avere supporto diretto di drive da 3.5 e da 5.25 pollici. Risulta poi essenziale collegare la massa della scheda a quella del connettore per il floppy drive.

Il software host può essere installato su PC Linux, Windows e su Mac. È prevista una GUI dalla quale è possibile eseguire le operazioni di lettura e, per certi formati, di scrittura [3].

Il progetto è open-source su GitHub ed include istruzioni per il montaggio e per la scrittura del firmware di controllo.



Il File Immagine, gli Emulatori e il Recupero dei File

E' doveroso precisare che il file immagine di disco non è univoco, ma dipende strettamente dal computer da cui proviene il dischetto e dal formato con cui è stato salvato.

La Digital Equipment Corporation (DEC), nota per il suo elaboratore PDP-11, utilizzava per il caricamento del software e salvataggio dei programmi delle unità floppy da 8 pollici: le RX-01 e RX-02.

Utilizzava un formato di scrittura proprietario denominato *DEC RX-02 M2FM* il quale racchiude elementi del formato FM per alcuni settori ed elementi di MFMM per altri. Per creare un'immagine ad estensione .IMG di un floppy formattato in un drive RX-02, partendo dal file contenente le variazioni di flusso magnetico, è necessario specificare al software di decodifica (*HxCFloppyEmulator*) che si tratta di un disco *DEC RX-02 M2FM* dando indicazione del numero di tracce, settori, dimensione dei settori, numero di "sides" scritti del dischetto (side 0, side 0-1), e altri parametri.

Viene riportata (v. fig. 7.1) un'immagine del profilo di decodifica configurato per produrre l'immagine di un disco RX-02 proveniente da un PDP-11/34A.

Questo non è l'unico modo in cui è possibile creare immagini di un disco: il software host della scheda Greaseweazle implementa la funzione "Convert" (la quale supporta il formato DEC RX-02) che risulta utile a convertire un file RAW

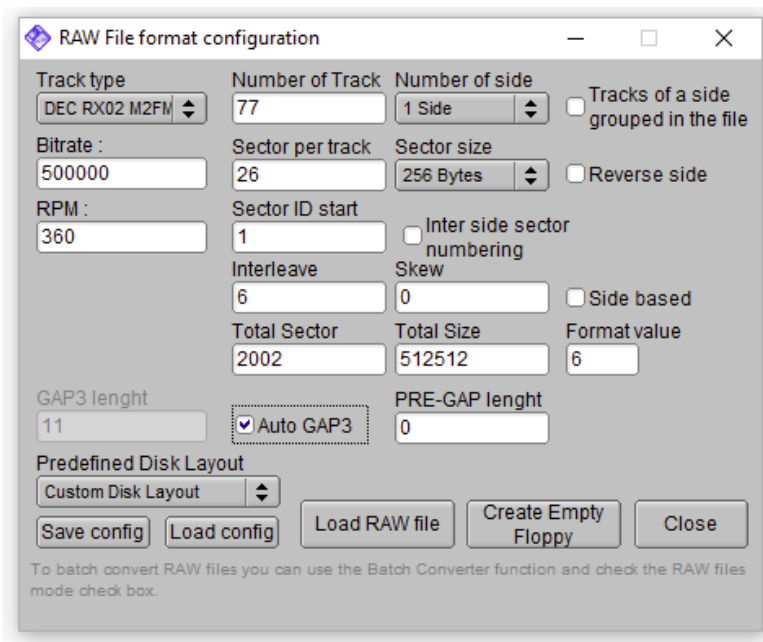


Figura 7.1: Il profilo HxCFloppyEmulator per produrre un'immagine disco RX-02

dump di un disco in un'immagine dello stesso.

Un altro formato immagine molto utilizzato per archiviare del software proveniente da floppy disk è il formato IMD, nativo del software *ImageDisk* di Dave Dunfield utilizzato tipicamente su PC DOS con connettore IDE-34 (interfaccia Shugart) presente su scheda madre. Esso consente di leggere il contenuto di un floppy in formato immagine .IMD mantenendo in ogni caso la possibilità di una lettura a basso livello (RAW dump).

In molti casi può capitare di imbattersi in formati immagine proprietari. Un esempio può essere il formato immagine ADF per i floppy provenienti da computer Amiga, oppure il formato D64 per floppy disk provenienti da Commodore 64. Nel caso particolare del Commodore 64 esistono in commercio schede in grado di interfacciarsi ad un floppy drive originale Commodore (mod. 1541, 1570, 1571), dotato di porta IEC, che consentono di salvare il floppy nel formato immagine D64.

Questo file rappresenta un'immagine virtuale del disco, che può essere eseguita direttamente all'interno di un emulatore oppure esplorata con un software specifico, quale ad esempio *DirMaster*, programma per altro open-source.

Tramite *DirMaster* si può avere accesso ai singoli file contenuti nel disco del C64

(possono anche essere estratti o rimossi dall'immagine) che saranno comunque accessibili qualora si utilizzi un emulatore del Commodore 64 quale ad esempio *WinVICE*.

In merito all'estrazione dei singoli files contenuti nell'immagine del disco esistono diverse soluzioni, un esempio è il sopracitato *DirMaster*, ma più in generale si può dire che vi sono anche altri tools dedicati per altre tipologie di PC.

Fornendo un esempio ulteriore si cita *22Disk*, un tool per l'estrazione di file da immagini disco di computer con sistema operativo CP/M.

Per dischetti da 3.5 pollici, scritti in formato MS-DOS FAT 12, una volta letti in formato RAW e convertiti in file immagine (con opportuni settaggi in *HxCFloppyEmulator*), è possibile accedere ai singoli files sempre tramite *HxCFloppyEmulator* attraverso lo strumento *DOS Disk Browser*.

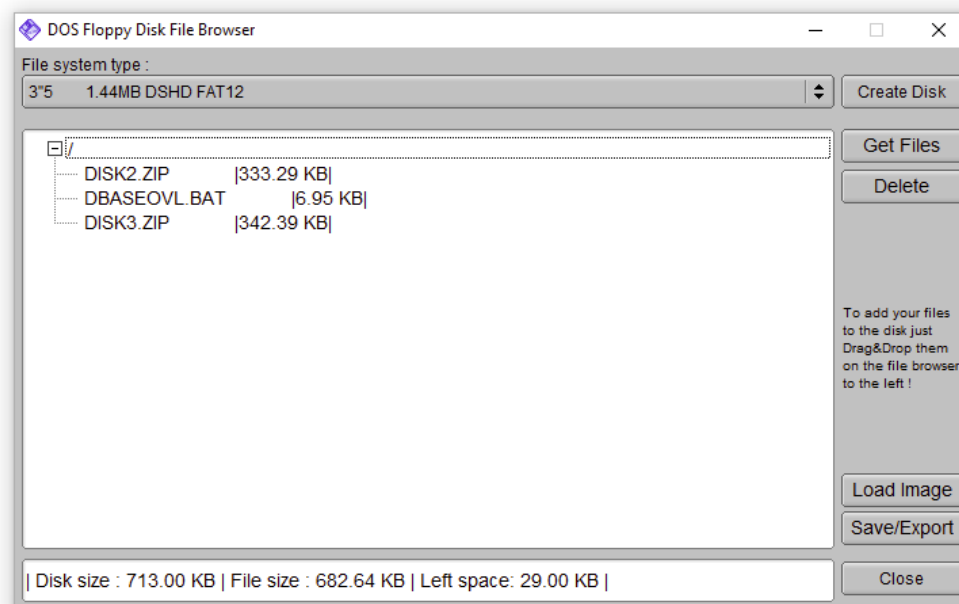


Figura 7.2: Esempio d'uso di *DOS Disk Browser* per estrarre files

Una volta caricata l'immagine ("Load Image"), qualora questa sia compatibile con il formato scelto dal menu a tendina, sarà possibile tramite "Get Files" recuperare i singoli file (documenti di testo, applicazioni .EXE, ecc.) e salvarli su una cartella per l'archiviazione.



Il Digital PDP-11 e la Scheda 4i

Il PDP-11 è stato un potente minicomputer a 16 bit progettato e realizzato dalla Digital Equipment Corporation (DEC) a partire da inizio anni settanta.

Ne furono prodotte varie versioni che si contraddistinguevano grazie ad un identificativo numerico posto a seguito del nome "PDP-11".

Questi calcolatori ebbero largo utilizzo nel campo dell'analisi dei dati.

Grazie anche al suo sistema operativo real-time (*RT-11*), il PDP-11/34A si rivelò particolarmente flessibile per un progetto innovativo per il mondo della computer music: il processore sonoro 4i, la cui importanza è storicamente rilevante in quanto grazie ad essa e al calcolatore PDP11, il compositore veneziano Luigi Nono scrisse l'opera *Prometeo*, eseguita per la prima volta il 25 settembre 1984 nella chiesa di San Lorenzo a Venezia.

La 4i, progettata dal fisico e inventore italiano Giuseppe Di Giugno venne realizzata presso i laboratori IRCAM di Parigi in collaborazione con il Centro di Sonologia Computazionale di Padova. Presso il CSC, i ricercatori Graziano Tisato e Sylviane Sapir si occuparono di realizzare software applicativo (sviluppato in Fortran e Pascal) per la scheda, con particolare attenzione non solo all'aspetto musicale ma anche a quello di sintesi vocale. La scheda 4i integrava 32 unità logiche, che potevano essere programmate per implementare funzioni non lineari. Un esempio può essere la funzione seno, in grado di generare un'onda sinusoidale a frequenza prefissata, ma era anche possibile creare funzioni più complesse, quali ad esempio funzioni di distorsione di un segnale. Un'altra importante implementazione erano i filtri digitali, del tipo passa basso, passa alto, passa banda. La potenza della scheda processore sonoro 4i risiede nella

possibilità di interconnettere tra loro questi moduli (da un'interfaccia software semi-grafica) permettendo la creazione di un'elevata gamma di suoni diversi. Nella figura 8.1 viene riportato il sistema PDP-11/34 completo di unità drive e terminale seriale funzionante dopo il restauro, conservato presso il CSC.



Figura 8.1: *Il setup PDP-11 + Dual Drive da 8 pollici + Terminale Televideo 925*

La scheda 4i e il calcolatore Digital PDP11/34A che la controlla sono stati conservati presso il Centro di Sonologia Computazionale fino ad oggi: quanto seguirà sarà una descrizione dettagliata del restauro di ogni singola parte del calcolatore, illustrando anche i test di funzionamento effettuati.



RESTAURO DEL PDP-11/34 - IL FLOPPY DRIVE

9.1 UNITÀ DUAL DRIVE 8 POLLICI

Il processo di restauro del calcolatore PDP-11 è iniziato dall'unità floppy composta da due drive da 8 pollici modello BASF 6104. Si è scelto di partire dai lettori floppy in quanto un lettore sarebbe tornato prontamente utile alla conservazione del contenuto dei floppy contenenti il sistema operativo della macchina e del software sviluppato internamente al CSC per la gestione e utilizzo della scheda 4i.

9.1.1 SCHEDA ANALOGICA DEI DRIVE

I due drive BASF, oltre alla parte meccanica necessaria alla lettura, integrano una scheda analogica ciascuno, necessaria a convertire i vari segnali dalla meccanica al controller e viceversa. Un classico problema elettronico che impedisce un corretto funzionamento di questi drive sono i condensatori al tantalio, in particolare quelli posti in parallelo alle linee di alimentazione. Questi componenti con il passare degli anni perdono le loro proprietà elettroniche, in modo particolare tendono a cortocircuitarsi internamente causando un passaggio di corrente elevato che si traduce in dissipazione di calore che a sua volta porta spesso all'esplosione del componente. Si è deciso quindi di sostituire preventivamente questi componenti prima di fornire l'alimentazione all'unità BASF

9.1. UNITÀ DUAL DRIVE 8 POLLICI

6104 in esame. Si è inoltre verificato che molti condensatori al tantalio, una volta rimossi, ponendo ai loro poli un multimetro impostato per controllo di continuità, si comportavano come un cortocircuito.

9.1.2 CONDENSATORE DI AVVIAMENTO DEL MOTORE

Nei drive BASF 6104 il motore che fornisce il moto alla puleggia principale (tramite una cinghia) è alimentato direttamente dalla tensione di rete, 220VAC. Accanto al motore in questione è posto un condensatore, denominato condensatore di avviamento (o di start), che in un motore monofase come quello installato nel floppy drive serve a sfasare la corrente di uno dei due avvolgimenti rispetto all'altra, garantendo la presenza di un campo magnetico necessario ad a mettere in movimento il rotore.

Il condensatore considerato, come altri condensatori inutilizzati per molto tempo (nel nostro caso più di 30 anni), può presentare problemi a livello di dielettrico, che tende a depositarsi in un'unica zona del componente lasciando libero lo spazio tra le armature in altre zone. Questo a livello fisico si manifesta da cambiamenti della capacità del componente.

Nei floppy drive, un non corretto funzionamento del condensatore di avviamento ne comporta un'accensione ritardata ovvero un graduale aumento della velocità, prima del raggiungimento del valore a regime, che spesso non rientra nelle specifiche (tipicamente inferiore), che per questi drive sono di 360 RPM (*Rounds-Per-Minute*).

In entrambi i drive il condensatore in questione è stato sostituito con un ricambio moderno di pari valore di capacità e tolleranza migliore (5% contro 10%).

9.1.3 ALIMENTATORE LINEARE

L'unità a doppio drive installata nel PDP-11 dispone di un alimentatore lineare necessario ad alimentare le due schede analogiche dei due BASF 6104, fornendo le seguenti tensioni VDC: +24V, +5V, -5V.

L'alimentatore ad una prima ispezione ha manifestato problemi ai condensatori elettrolitici. In particolare nella parte inferiore di alcuni di essi, in prossimità dei reofori, erano presenti delle perdite di dielettrico fuoriuscito da ciascun condensatore difettoso.

La prima operazione eseguita è stata dissaldare tutti gli elettrolitici, avendo segnato prima su un foglio di carta le polarità di ciascuno di essi grazie ad uno

schizzo della distribuzione dei componenti sul circuito stampato.

Si è poi pulita la scheda con alcool isopropilico in prossimità dei condensatori, con l'obiettivo di eliminare le tracce di dielettrico dal PCB lato componenti. Fortunatamente le piste nel lato saldature non sono state intaccate dal liquido.

Per l'acquisto dei condensatori di ricambio si è scelto di optare per componenti con una tensione massima di esercizio superiore a quella dei componenti originali. Per alcuni di loro la tensione di lavoro presentava un valore borderline: erano presenti due elettrolitici da 1000uF 10V sulla linea dei 5V, che in caso di un disturbo propagato in uscita, avrebbe portato i 5V anche fino a 6-7V, stressando il componente ed eventualmente danneggiandolo.

9.1.4 MECCANICA DEI FLOPPY DRIVE

Le componenti meccaniche dei floppy drive richiedono una manutenzione obbligatoria se ferme da molti anni. I principali aspetti critici sono dovuti ai bloccaggi meccanici e alla sporcizia accumulata sulle testine magnetiche.

Il meccanismo di avanzamento delle testine è costituito da un carrello fatto avanzare e retrocedere da una vite senza fine, azionata da uno stepper motor che ne consente l'avanzamento con brevi scatti (impulsi) quando la testina di lettura necessita di essere spostata su una traccia successiva del disco. Il grasso presente nella filettatura della vite con il tempo tende a indurirsi, impedendo l'avanzamento del carrello. Nel nostro caso le tracce di grasso sono state rimosse con un ago, pulendo poi con alcool isopropilico le zone. La vite è stata poi lubrificata con WD-40.

Sempre con alcool isopropilico è stata pulita la rotaia di scorrimento del carrello la quale presentava grasso mischiato a polvere. Anch'essa a pulizia completata è stata lubrificata con WD-40.

Le testine di lettura (2 per ciascun drive), sono state pulite utilizzando bastoncini cotonati imbevuti con alcool, strofinandoli delicatamente sulla superficie delle stesse.

9.2 LETTURA DEI FLOPPY DISK DEL PDP-11

Una volta completato il restauro delle unità drive da 8 pollici BASF 6104 si è potuto procedere alla conservazione del software originale contenuto sui

floppy.

Questo è stato letto in formato RAW grazie all'utilizzo di una scheda Greaseweazle V4. Il flat di interfaccia dell'unità drive BASF 6104 prevede il collegamento al floppy disk controller del PDP11 mediante un connettore IDE a 50 pin, mentre la scheda Greaseweazle V4 integra un connettore IDE a 34 pin. Il protocollo è lo stesso per entrambe le interfacce, quindi un semplice adattatore passivo è sufficiente a rimappare le linee di segnale.

Questo è stato realizzato su basetta millefori, nella figura 9.1 riportato assieme alla scheda V4. Si sono aggiunti dei ponticelli per gestire manualmente l'in-

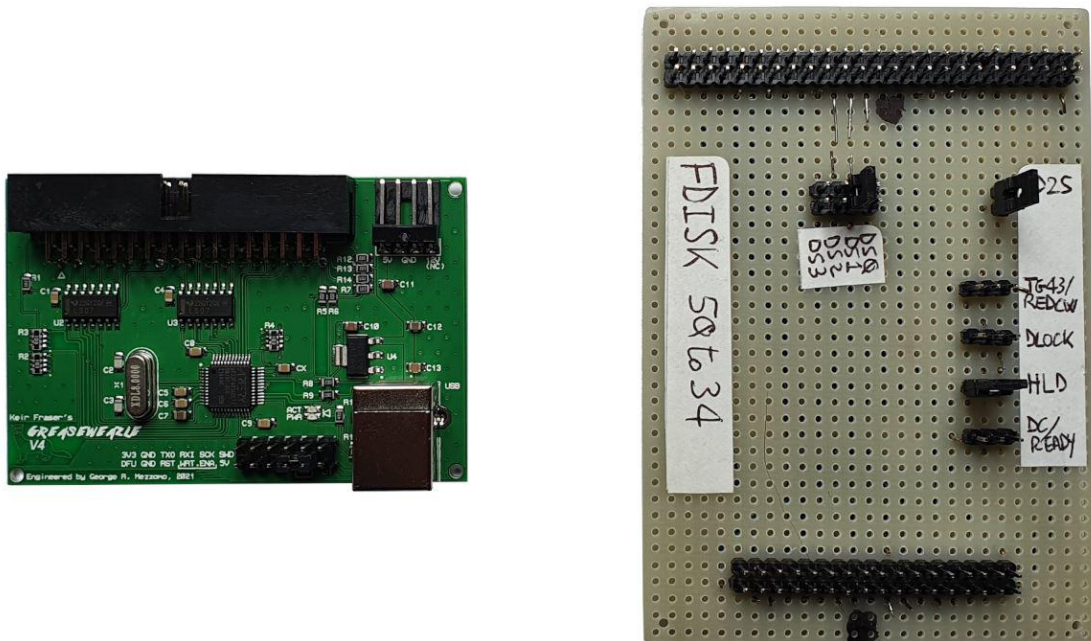


Figura 9.1: La scheda Greaseweazle V4 e l'adattatore per drive da 8 pollici

dirizzo del drive (0,1,2,3) e per impostare altri parametri quali ad esempio la possibilità di leggere dischi double-side o single-side, impostando la scelta con l'inserimento o rimozione di un *jumper*. L'alimentazione della Greaseweazle V4 è stata fornita direttamente dalla porta USB, mentre quella per l'unità BASF 6104 è stata fornita da un alimentatore ATX ² per le alimentazioni di +5V, -5V e +24V. I +24V sono stati ottenuti collegando alla linea di uscita +12V dell'ATX un modulo step up in grado di elevare la tensione di +12V a +24V dopo un'opportuna

²ATX: Alimentatore per PC seguente lo standard Advanced Technology eXtended (1995) per il pinout delle tensioni.

taratura tramite trimmer, che è stata eseguita a vuoto con confronto diretto con un voltmetro. Si è poi collegata alla rete la spina del motore per la rotazione della puleggia del BASF 6104.

Una volta completati i collegamenti il setup risultava come segue illustrato in Figura 9.3

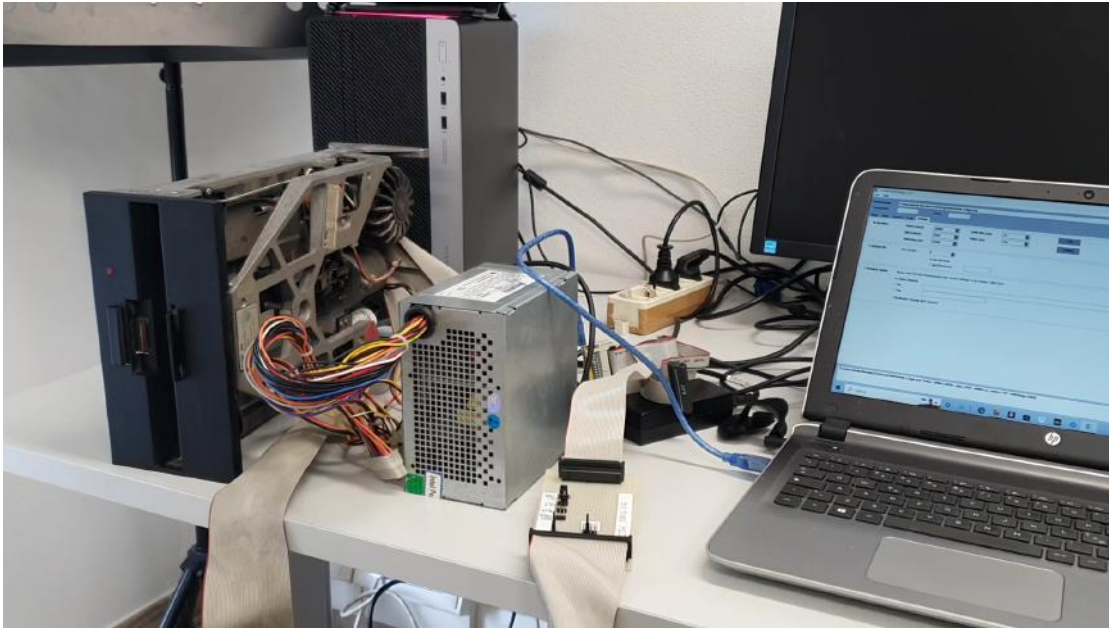


Figura 9.2: Il setup per la conservazione dei floppy da 8 pollici

Si è quindi lanciato il software *FluxMyFluffyFloppy* dal laptop e si sono effettuate le prime verifiche di funzionamento.

Nella sezione "Tools" del software è presente la funzione "Seek" (v. fig. 9.3) con parametro il numero di cilindri del drive, che nel caso del BASF 6104, dalla scheda tecnica, vale 77. Inserendo il valore 77 e avviando il processo si è potuto osservare che il gruppo testine magnetiche del drive si è spostato dalla posizione di riposo fino al fine corsa.

Se nella funzione "Seek" si inseriva come nuovo parametro 0, questo a processo avviato riportava il carrello delle testine alla posizione di riposo.

Per verificare la fluidità dei movimenti, utile dopo la manutenzione del drive, è stata testata una ulteriore funzione diagnostica, la "Clean Heads", presente sempre nel menu "Tools" con parametri il numero di cilindri del drive (77) e il

9.3. CREAZIONE DELLE IMMAGINI DI DISCO

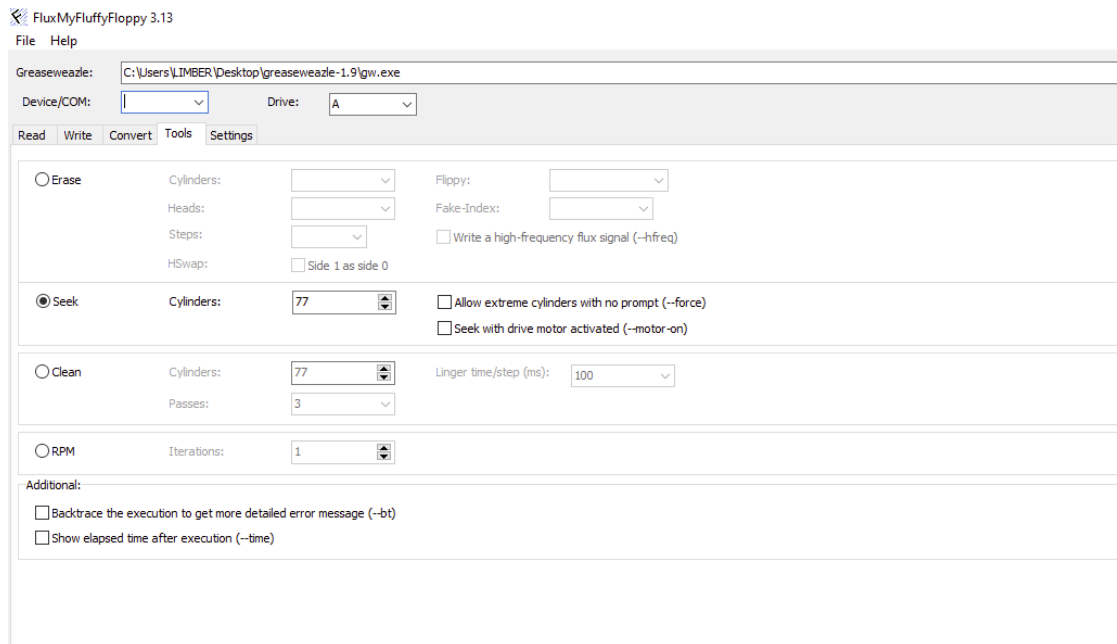


Figura 9.3: La funzione *Seek* da *FluxMyFluffyFloppy*

numero di ripetizioni desiderate della procedura. Questa se avviata comporta rapidi avanzamenti progressivi del gruppo testine con ritorno al punto di partenza, al fine di verificare che non ci siano bloccaggi e che il movimento sia fluido. Entrambi i test hanno fornito esito positivo ed è stato possibile quindi procedere al setup del profilo di acquisizione (v. fig. 9.4).

Per fare questo è necessario recarsi nella sezione "Read" di *FluxMyFluffyFloppy* ed impostare manualmente i cilindri (0-76), selezionare le due testine di lettura (0-1) per leggere entrambi i lati del disco e impostare i passi di avanzamento (Steps) a 1. Infine, occorre impostare per ogni lettura un nome per il file RAW che verrà prodotto a lettura completata, dopo aver selezionato anche il formato che nel nostro caso è SCP, file unico contenente le informazioni sulla variazione del flusso magnetico.

Questa operazione è stata eseguita per ciascun disco da 8 pollici del PDP-11.

9.3 CREAZIONE DELLE IMMAGINI DI DISCO

Per la creazione delle immagini di disco per ciascun floppy disk, si è utilizzata la funzione "Convert" messa a disposizione dal software host della Greaseweazle, interfacciato con la GUI *FluxMyFluffyFloppy*. Questa funzione consente, a partire dalla release v1.11, di processare un dump in formato SCP in una imma-

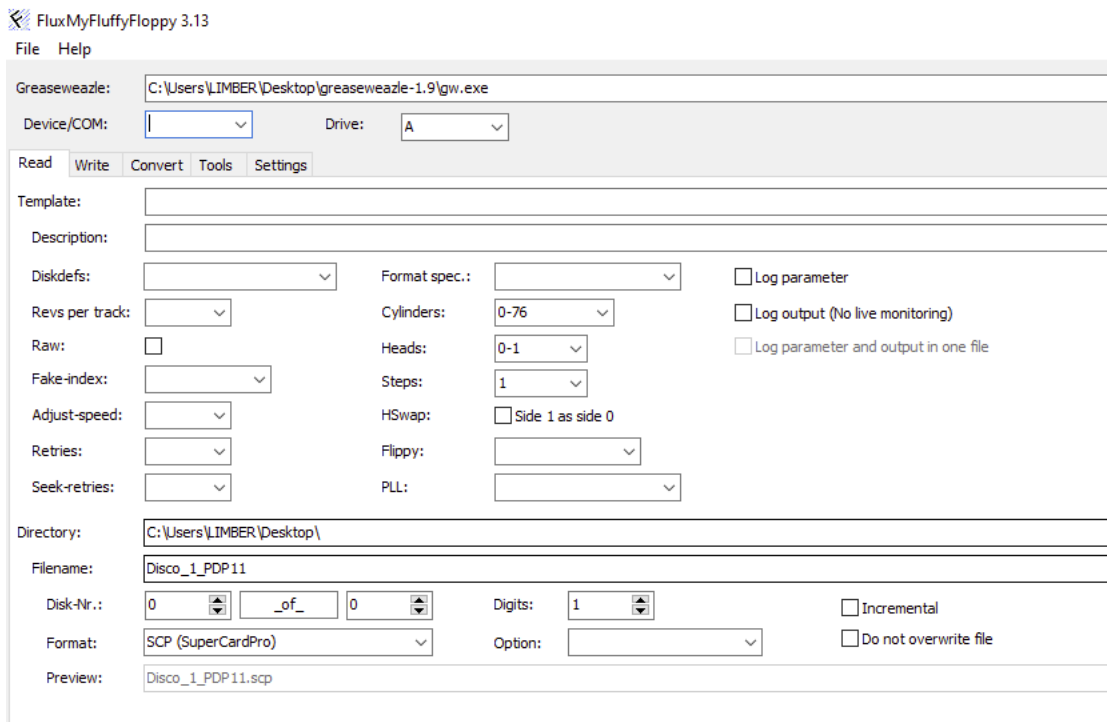


Figura 9.4: Il profilo di acquisizione correttamente settato

gine disco in formato DEC RX-02, che è quello adottato dal PDP-11/34A.

Nella schermata (v. fig. 9.5) si può vedere la funzione di conversione. Come "Source file" è stato fornito il percorso al file dump in formato SCP del disco che si voleva convertire, inserendo in "Format spec." la stringa *dec.rx02* identificativa del formato RX-02. Si sono poi inserite informazioni sul "trackset", ovvero sul numero di tracce contenute nel disco letto, sul numero di facce (parametro "Heads"), e gli Steps, posti pari a 1.

Si è scelto per ciascun disco un nome identificativo opportuno, inserito nel campo Filename. Il nome *Disco1* nella figura ha solo scopo indicativo.

Come formato in uscita si è scelto "IMG (Disk Image)" dal menu a tendina "Format".

Avviando il processo con il tasto "Convert" riportato in basso a destra veniva aperta una finestra del Prompt dei Comandi Windows, avviata dall'invocazione dell'applicazione Greaseweazle (gw.exe) che illustrava passo passo l'avanzamento della conversione (v. fig. 9.6). A processo terminato il file convertito (.IMG) veniva reso disponibile nella directory di output specificata.

A questo punto si è proceduto all'archiviazione dello stesso nella relativa cartella (ne è stata creata una per ogni floppy disk letto) contenente il dump a livello di

9.3. CREAZIONE DELLE IMMAGINI DI DISCO

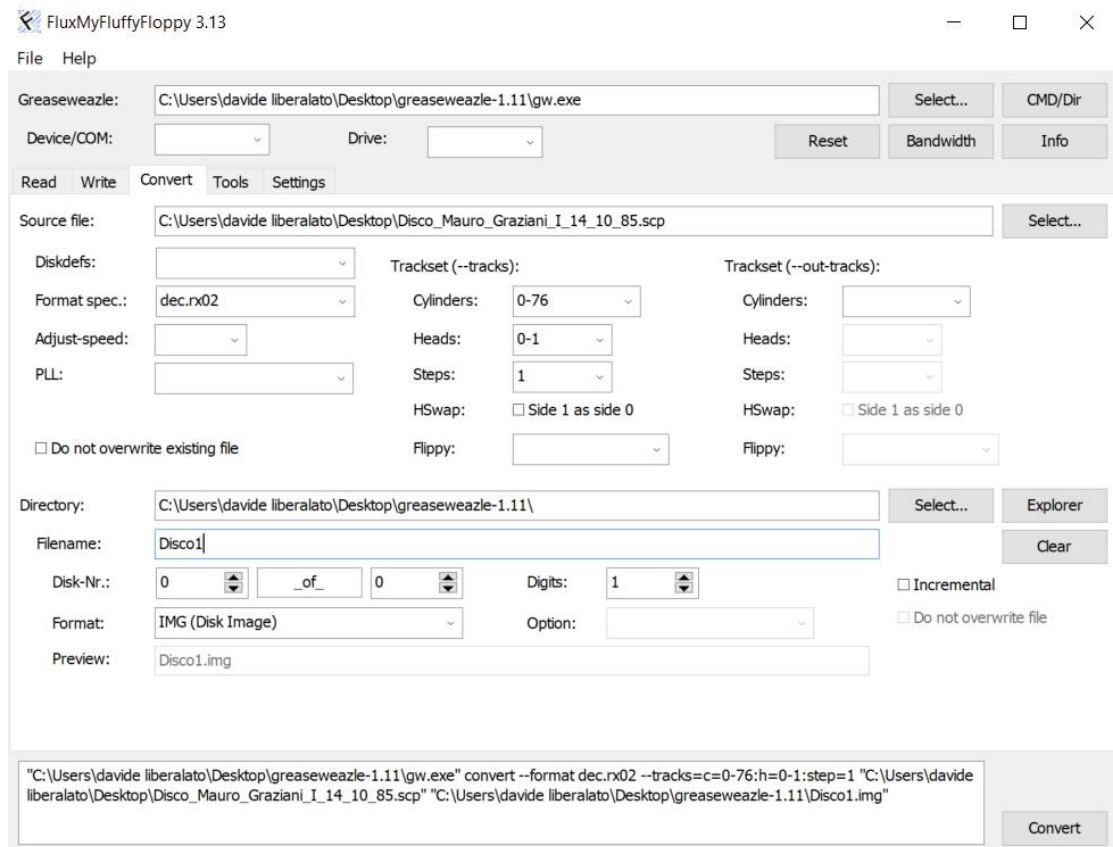


Figura 9.5: La funzione di conversione con parametri settati

flusso magnetico del disco in formato SCP.

LE STAMPE DEL DIRETTORIO

Per la maggior parte dei dischi conservati, era presente nella custodia del dischetto una stampa su foglio di carta del *direttorio*³ del disco stesso.

L'inchiostro di stampa con il passare del tempo perde di intensità rendendo difficile la lettura dell'informazione riportata sul supporto cartaceo.

Per completezza dell'operazione di conservazione attiva si è deciso di eseguire una scansione di questi documenti riportanti la directory di ciascun disco, allegandone nella cartella di dump dedicata il relativo file PDF ottenuto dalla scansione.

³Direttorio: La directory del disco, ovvero l'elenco dei file in esso contenuti.

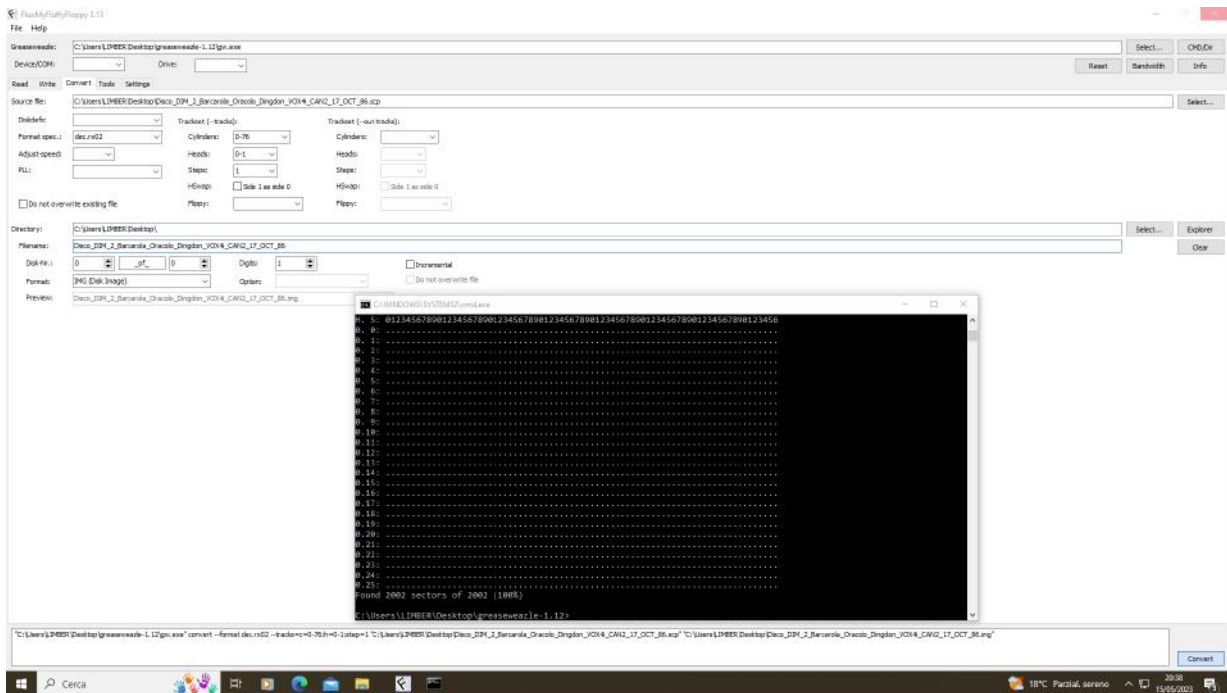


Figura 9.6: La funzione di conversione durante l'elaborazione dell'immagine

9.4 ANALISI DELLE IMMAGINI

Prima di passare al restauro del calcolatore "fisico" si è approfondito l'aspetto relativo al software appena trasferito in formato digitale.

Per fare questo si è aperta l'immagine di ciascun disco per esplorarla in formato testo. In questo modo è possibile avere un'indicazione di massima del contenuto, analizzando le stringhe che compaiono. Il quadro completo comunque può essere ottenuto solo con l'emulazione, dove il software letto viene realmente eseguito su una macchina virtuale (PDP-11 virtuale). Di questo aspetto parleremo in seguito (v. cap. 13). E' stato possibile dall'esplorazione dei file immagine individuare parte consistente dei listati (codici sorgente) con codice in FORTRAN per la configurazione della scheda 4i per implementare un determinato strumento.

Nell'immagine (v. fig. 9.7) è possibile vedere un esempio di questi listati, estratto dal floppy disk *DIM3 4i RTI4i NOT4i Prometeo 1 12 85* e relativo alla configurazione della 4i per la generazione del suono "dong", caratteristico di una campana di vetro, programmato da Sylviane Sapir.

E' stato altresì possibile accedere ai parametri di configurazione della 4i durante

9.5. SCRITTURA SU DISCO

```
C      SYLVIANE 10/09/84      INTER2.FOR      |
C      strumento: 4 voci DONG      |
C      controllato da partitura INTER2.NOT      |
C-----|
      PROGRAM INTER2
      OPEN(UNIT=ENV+1
           ISB2=ISB2+1
           IOB2=IOB2+1
           IDX=IDX+1
           IDXDNL=IDXDNL+1
           IODNL=IODNL+1
           IRAP=IRAP+1
           IMOD=IMOD+1
           ISB3=ISB3+1
           IOB3=IOB3+1
           IOUT1=IOUT1+1
           IFENV=IFENV+1
           ISB4=ISB4+1
           IOB4=IOB4+1
           IOUT2=IOUT2+1
           IOUT3=IOUT3+1
           IMIX=IMIX+1,NAME=' INTER2. LOC ' )
      OPEN(UNIT=12,NAME=' INTER2.DAT',TYPE='OLD')
      BYTE STRING(80)
      NVOC=4
C
C      costanti
C
      CALL WRW("164000","407)
      CALL WRADR(30,431)
      NZER=472
      CALL WRDM(NZER,0,0)
      NUNO=473
      CALL WRDM(NUNO,"77777","377)
      MEZZO=474
      CALL WRDM(M1
           IFMO=IFMO+1
C
           IFLT=IFLT+1           !PER FILTRO
           IPOT=IPOT+1
C
100    CONTINUE
```

Figura 9.7: Parte del listato Fortran per la generazione di un suono su scheda 4i

l'esecuzione delle opere *Prometeo* di Luigi Nono e *Perseo e Andromeda* di Salvatore Sciarrino.

Nel corso del processo di conservazione attiva dei dischi da 8 pollici usati con l'elaboratore PDP-11 si sono conservati dischi di opere musicali anche di Massimo Graziani, Walter Prati e Alberto Caprioli, che potranno ora essere ulteriormente approfondite dai musicologi.

9.5 SCRITTURA SU DISCO

Un punto di forza della scheda Greaseweazle e del relativo software di controllo è la possibilità di trasferire un'immagine disco in un floppy disk reale.

Qualora si avesse l'elaboratore riattivato e funzionante ma subentrasse un problema di lettura di un dischetto a seguito del danneggiamento di un settore o alla sua smagnetizzazione, è possibile grazie alle operazioni di conservazione e al file immagine di disco, riscrivere una copia fisica del floppy in modo da garantire l'utilizzo del calcolatore originale.

Questa funzione è eseguibile dalla finestra "Write" della GUI *FluxMyFluffyFloppy*, che si presenta come riportato in figura (v. fig. 9.8):

Ad essere scritto sul disco destinazione fisico non è il file contenente le variazio-

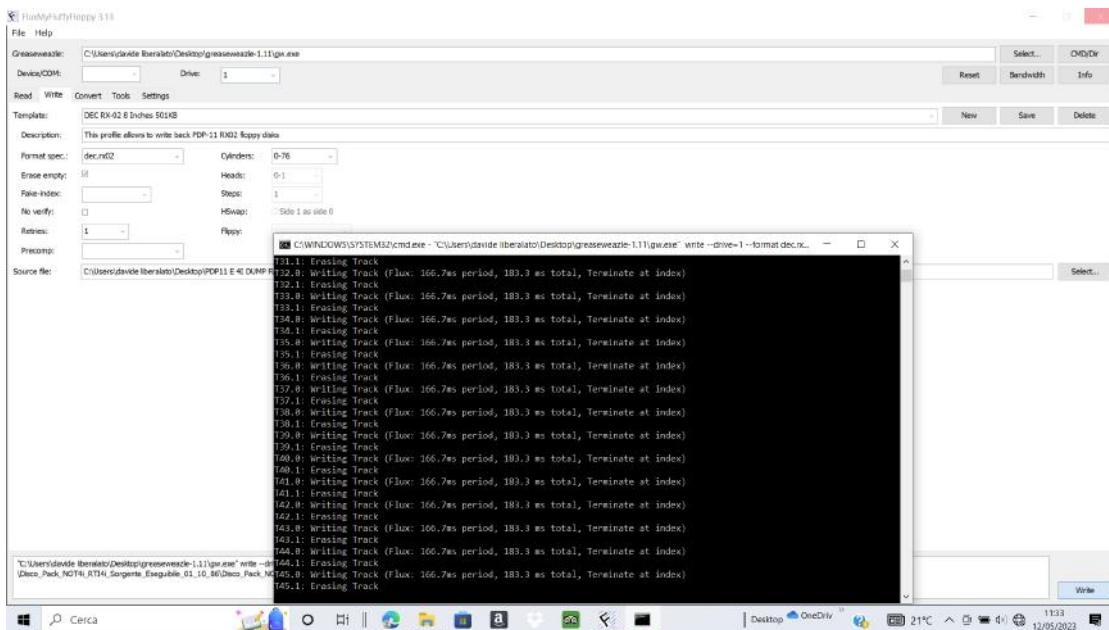


Figura 9.8: Il software host della *Greaseweazle* durante la scrittura di un disco da 8 pollici.

ni di flusso magnetico (file SCP), bensì il file immagine nel formato di scrittura corretto. Questo perché le informazioni utili sono già state estratte dal file SCP in fase di produzione del file immagine. Il file SCP potrebbe contenere anche informazioni spurie, trascurate dal software di interpolazione durante il processo di creazione dell'immagine. Al fine di riscrivere il disco fisico con la garanzia che questo venga poi effettivamente letto dal retrocomputer per cui è destinato, occorre specificare correttamente il formato (menu a tendina "Format spec:" in *FluxMyFluffyFloppy*), il trackset ("Cylinders"), il numero di testine ("Heads"), gli Steps e selezionare l'opzione "Erase Empty", per cancellare i dati dal disco da scrivere qualora non si tratti di un floppy disk vergine o comunque già cancellato

9.5. SCRITTURA SU DISCO

in precedenza (mediante Tools -> Erase).

Si è testata questa funzionalità della Greaseweazle creando una copia fisica del disco *Pack NOT4i RTI4i Sorgente Eseguitibile 01 10 86*

Per verificare l'esito positivo della scrittura, eseguita sul dual drive floppy utilizzato in origine con il PDP-11, si è comandato alla scheda Greaseweazle di leggere il disco appena scritto. Convertendo poi il dump SCP ottenuto in un file immagine di disco RX-02, in modo analogo a quanto illustrato al capitolo 7 si è operato un confronto tra l'immagine ottenuta dalla lettura del disco originale e l'immagine ottenuta dalla lettura del disco "copia", appena scritto.

L'esito della prova (effettuata con HxD HEX Editor, funzione "Compare"), ha avuto esito positivo, confermando che la copia del disco fisico è stata eseguita correttamente.

10

RESTAURO DEL PDP-11/34 - UNITA' CENTRALE

10.1 L'ALIMENTATORE

L'alimentatore del PDP-11/34 del Centro di Sonologia Computazionale di Padova si presenta come un sistema modulare. Esso è infatti costituito di più blocchi, ad ognuno dei quali è affidato il compito di fornire una tensione continua stabilizzata con possibilità di erogazione di correnti elevate (fino a 32 Ampere per unità).

I blocchi vengono alimentati ciascuno da una tensione alternata compresa nell'intervallo 20-30VAC proveniente da un avvolgimento del secondario del trasformatore principale. Vi è un secondario dedicato per ogni modulo di alimentazione installabile.

I moduli presenti nel calcolatore del CSC sono i seguenti: 2 x **H7441**, 1 x **H745**, 1 x **5411086 Power Line Monitor**.

- H7441

Questo modulo è in grado di fornire una tensione stabilizzata di +5VDC erogando una corrente fino a un massimo di 32A. Per funzionare richiede in ingresso una tensione alternata variabile da 20-30V.

- H745

10.2. RIGENERAZIONE DI UN CONDENSATORE ELETTROLITICO

Questo modulo è in grado di fornire una tensione stabilizzata di -15VDC erogando una corrente fino a un massimo di 10A. Per funzionare richiede in ingresso una tensione alternata variabile da 20-30V e di una tensione di riferimento esterna di +15V.

- POWER LINE MONITOR

Questo modulo ha una doppia funzionalità: fornire le tensioni stabilizzate di +15VDC e +8VDC in uscita e di segnalare all'unità centrale dell'elaboratore la presenza di un eventuale "power fail", ovvero la presenza di un guasto/-cortocircuito ad una o più linee di alimentazione. Va comunque detto che i moduli sono stati realizzati in modo da far intervenire dei circuiti di protezione in caso di sovracorrenti (*limiter*). Lo scopo della power line monitor è quello di segnalare tempestivamente guasti in modo da predisporre il calcolatore ad un rapido salvataggio del contenuto della memoria volatile, che in assenza di alimentazione perderebbe l'informazione contenuta. Era previsto un modulo con batteria, per mantenere i dati nella memoria volatile anche in assenza di alimentazione, ma tale modulo non è presente nel PDP-11/34A del CSC.

In ogni modulo sono installati dei condensatori elettrolitici di elevata capacità (decine di migliaia di micro-Farad) con lo scopo di livellare la tensione in ingresso al sistema dopo il raddrizzamento realizzato mediante un ponte a diodi.

Questi condensatori elettrolitici, se inutilizzati per diverso tempo perdono le loro proprietà elettriche e tendono ad accumulare il dielettrico in un unico punto, lasciando scoperte altre zone. Prima di sottoporli alla tensione operativa diretta, che spesso è molto vicina al valore nominale di tensione massima del componente, è bene rigenerare il dielettrico presente in questi componenti, seguendo la procedura riportata in seguito.

10.2 RIGENERAZIONE DI UN CONDENSATORE ELETTROLITICO

Il processo di rigenerazione di un condensatore elettrolitico datato e inutilizzato da tempo richiede l'esecuzione delle seguenti procedure.

E' innanzitutto opportuno rimuovere il condensatore che si vuole rigenerare dal circuito in cui è installato. I condensatori elettrolitici dell'alimentatore del PDP-11 sono interfacciati alla scheda elettronica mediante dei cavi elettrici che

terminano con due occhielli in metallo, fissati con delle viti al condensatore.

Prima di rimuoverli è bene tenere traccia della polarità. Questo aspetto è molto importante da tenere presente anche in fase di rigenerazione del condensatore: l'applicazione di una tensione inversa rispetto quanto riportato dalla polarità danneggia gravemente il componente.

Il passo successivo è l'ispezione visiva del componente, per verificare che non ci siano perdite di dielettrico, rigonfiamenti, o tracce di ossido estese. In queste circostanze è opportuno optare per la sostituzione del componente.

Per preservare l'originalità del dispositivo che si restaura è comunque da preferire, qualora possibile, la rigenerazione.

Un ulteriore controllo prima di procedere è verificare che il componente non presenti un cortocircuito tra i suoi terminali e può tornare estremamente utile verificarne la capacità effettiva ed ESR ⁴ tramite un capacimetro.

Successivamente, grazie all'ausilio di un alimentatore ATX, si può procedere alla rigenerazione effettiva del componente fornendogli gradualmente delle tensioni continue per caricarlo, intervallando tensioni crescenti da delle pause, tipicamente di 15/20 minuti per tensione applicata. Il valore di tensione massima raggiunta durante questo processo non dovrebbe superare 3/4 della tensione massima di esercizio riportata sul componente.

Nel caso del PDP-11, si sono inizialmente alimentati i condensatori a +3,3V, tensione presente sul cavo arancione di un ATX riferita a massa. Successivamente si sono applicati i +5V, poi +12V e infine +30V. I condensatori del calcolatore hanno tutti tensione massima di esercizio di 50V.

La tensione continua effettiva media a cui sono sottoposti, noto il range di tensione d'ingresso (20VAC-30VAC), varia approssimativamente nel range 18VDC e 27VDC. Per questo motivo si è deciso di rigenerare il componente fino a 30VDC. I +30V si sono ottenuti grazie ad un modulo step-up che, dati in ingresso i +12V presenti sui cavi gialli in uscita da ogni ATX, è in grado di fornire in uscita la tensione desiderata se tarata precedentemente mediante un trimmer.

Una volta completato il procedimento, prima della prova effettiva di funzionamento di ciascuna unità di alimentazione, si sono effettuate altre verifiche:

- Controllo (tramite un multimetro digitale) dell'integrità dei fusibili per veri-

⁴ESR: Resistenza Equivalente Serie, ovvero una resistenza di perdita interna schematizzabile in serie all'elemento capacitivo.

10.3. VERIFICA DEI BLOCCHI DI ALIMENTAZIONE

ficare la presenza di un guasto evidente già al momento della dismissione del calcolatore.

- Controllo del ponte a diodi, sempre mediante un multimetro digitale, verificando che la conduzione avvenga solo nella direzione prestabilita per ogni diodo.

- Verifica dell'assenza di cortocircuiti tra i terminali dei transistor e SCR di potenza.

Una volta verificati gli aspetti sopra riportati si è passati alla verifica del funzionamento di ciascun modulo.

10.3 VERIFICA DEI BLOCCHI DI ALIMENTAZIONE

Si è deciso di testare ciascun blocco singolarmente, oltre che per una questione di praticità operativa, anche per una localizzazione / soluzione mirata di un eventuale problema.

Per fare ciò si è utilizzato un trasformatore di ausilio, recuperato da un *Commodore PET 8032*, che è in grado di fornire una tensione di 21VAC a partire dalla tensione di rete 220V 50Hz.

Questa tensione risulta efficiente per una prima prova di ciascun modulo, che accetta in ingresso tensioni da 20VAC a 30VAC.

Per la verifica del corretto funzionamento dei moduli si è utilizzato un multimetro digitale impostato in modalità voltmetro DC, con valore di fondo scala 20V, sufficiente a verificare le tensioni da esaminare: +5V, +8V, +15V, -15V.

Le tensioni sono state misurate a vuoto.

Nel test del blocco H745, oltre al trasformatore erogante i 21VAC, si è utilizzato un ATX connesso a un voltage booster, opportunamente regolato per portare i +12V forniti dall'ATX a una differenza di potenziale di +15V rispetto massa, tensione necessaria come riferimento per il modulo H745.

Il test dei vari moduli ha fornito esito positivo, ad eccezione dell'H745 che presentava la tensione in uscita a vuoto di -14,78V che è stata corretta tramite un apposito trimmer di regolazione integrato nell'H745.

10.4 LE SCHEDE LOGICHE DEL PDP-11

Il calcolatore PDP-11/34 è costituito da varie schede logiche, ognuna con una funzione ben precisa, che vengono interfacciate tra loro tramite un bus di comunicazione detto *UNIBUS*.

Questo prevede degli slot con contatti metallici per accogliere schede *card-edge* realizzate dalla DEC stessa oppure da terze parti, quale ad esempio la scheda controller 4i.

Il funzionamento di ciascuna scheda verrà descritto in seguito, riportando anche il numero di riferimento dello slot dove ciascuna di esse era installata.

10.4.1 SCHEDE CPU

La CPU del PDP-11/34 non è costituita da un solo circuito integrato: essa è composta da due schede, installate sugli slot UNIBUS in posizione 1 (fig. 10.1) e 2 (fig. 10.2). Queste sono composte principalmente di circuiti logici TTL, oltre ad altri chip con funzioni di ALU bit slice (unità aritmetico logiche, chip 74S181 a 4 bit. 4 chip per avere 16bit).

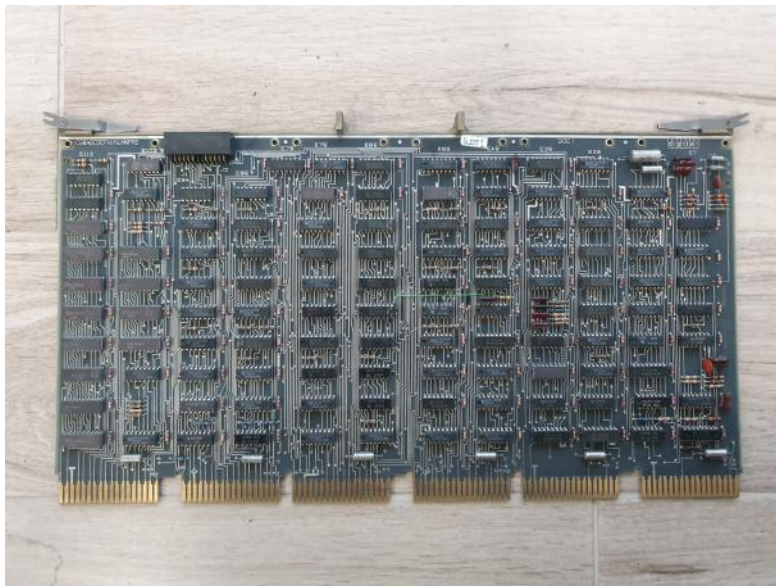


Figura 10.1: Slot 1 - Scheda CPU 1

10.4. LE SCHEDE LOGICHE DEL PDP-11



Figura 10.2: Slot 2 - Scheda CPU 2

10.4.2 SCHEDA FLOATING POINT

Grazie a questa scheda il PDP-11/34 è in grado di eseguire operazioni con numeri a virgola mobile. La scheda, che integra 14 chip AM2901 (ALU bit-slice), è installata nello slot 3. Presenta inoltre delle connessioni con le due schede CPU realizzate mediante due adattatori (v. fig. 10.3 e fig. 10.4).

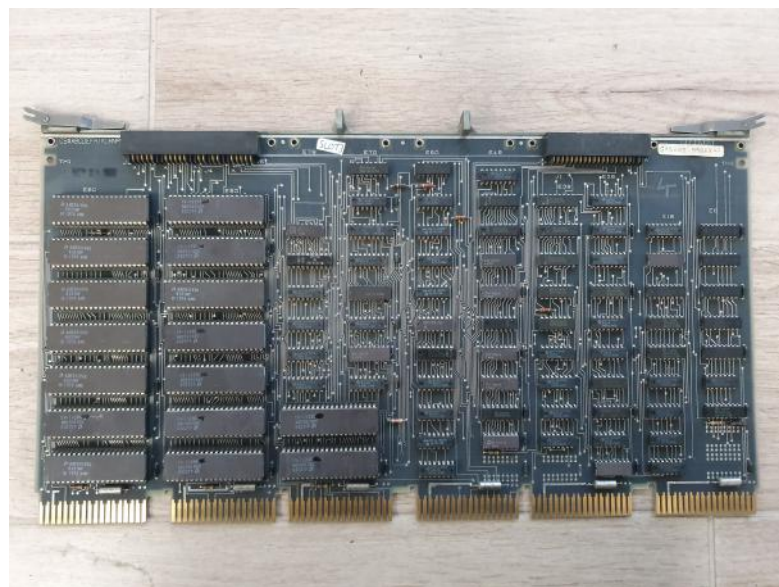


Figura 10.3: Slot 3 - Scheda Floating Point

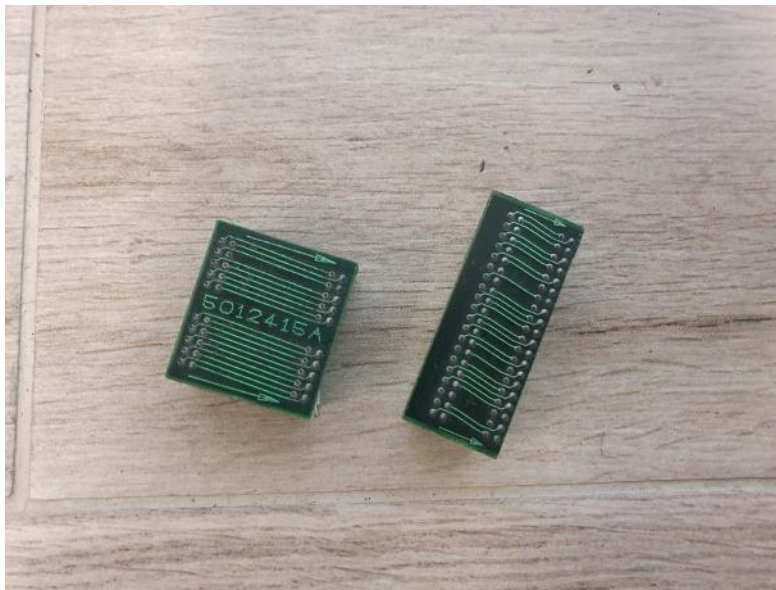


Figura 10.4: Adattatori ponte scheda floating point e CPU

10.4.3 SCHEDA CONSOLE M7859

Questa scheda (v. fig. 10.5) è dedicata al controllo della console posta sul pannello frontale del computer, in particolare alla gestione del display ottale a 6 cifre e alla gestione dei dati in input dal tastierino numerico. Questa scheda per la gestione delle varie funzioni integra un processore Intel 8008, delle PROM con del codice e della scratchpad RAM. E' installata sullo slot 4.



Figura 10.5: Slot 4 - Scheda Console M7859

10.4.4 SCHEDE RAM M7891

La RAM dinamica di cui è dotato il sistema risiede su questa scheda. La scheda presente nel PDP11 del CSC è la Option MS11-LD dotata di capacità 128K x 18 bit. E' basata su 144 chip modello 4116 da 16K x 1bit. La scheda (v. fig. 10.6) è installata sullo slot 5.

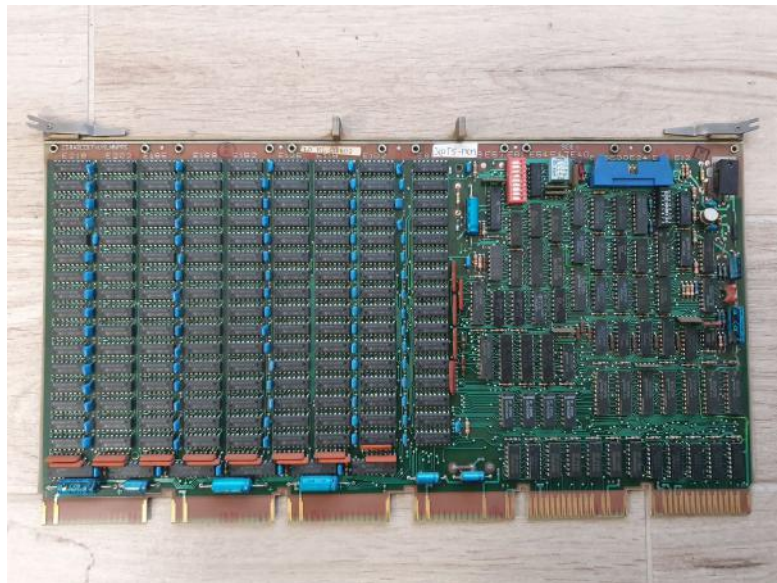


Figura 10.6: Slot 5 - Scheda RAM M7891

10.4.5 SCHEDE SERIALE SLU + REAL TIME CLOCK M7856

Nello slot 6 del PDP-11/34 è installata questa scheda (v. fig. 10.7) dalla duplice funzione.

Essa è responsabile sia della gestione della comunicazione con un terminale seriale RS-232 esterno, che della funzione real time clock, ovvero un orologio digitale in grado di memorizzare data e ora grazie all'ausilio di un battery pack per incrementare i contatori che lo implementano anche in assenza di alimentazione. Su di essa sono presenti dei DIP-switch di configurazione che consentono all'utente di selezionare la velocità di ricetrasmisione seriale desiderata (massimo 9600 baud), il numero di stop bit, il set dati e l'eventuale presenza di bit di parità.

UTILIZZO DELLA SCHEDA DURANTE IL RESTAURO

Questa scheda è stata utilizzata assieme alla M7859 per le prime prove di funzionamento del sistema, omettendo le altre schede ad eccezione del terminatore M9302 (ref. 10.4.14). Il test effettuato consisteva nell'invio di un carattere ASCII (codificato in ottale) dalla console del PDP-11/34 verso il terminale seriale (*TeleVideo Model 925*) opportunamente configurato.

La scheda è stata impostata alla massima velocità di trasmissione / ricezione di 9600 baud, set dati a 8 bit, nessuna parità, 2 stop bit, seguendo le impostazioni del rispettivo manuale.



Figura 10.7: Slot 6 - Scheda SLU + Real Time Clock

10.4.6 SCHEDA DR 11-C INTERFACE M7860

Questa scheda, installata nello slot 7, mette a disposizione del sistema PDP-11 un'insieme di interfacce di uso generale distribuite su due connettori (v. fig. 10.8). Nel calcolatore del CSC questa è stata utilizzata per l'interfacciamento dei potenziometri della 4i per il controllo dei parametri sonori, collegati a questa M7860 mediante una scheda contenente un ADC modello ADC0804LCN.

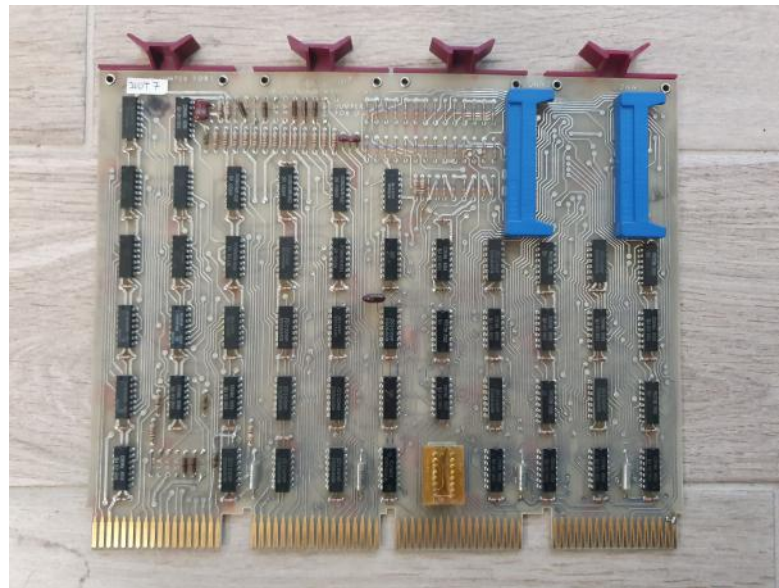


Figura 10.8: Slot 7 - Scheda DR 11-C Interface M7860

10.4.7 SCHEDA RL11 CONTROLLER M7762

Grazie a questa scheda (v. fig. 10.9), montata sullo slot 8 del PDP-11/34, si ha la possibilità di interfacciare al calcolatore un *Removable Hard Disk Drive*, quale ad esempio il *Digital RL01* o il *Digital RL02*. Il PDP-11 del Centro di Sonologia Computazionale di Padova era utilizzato con un RL02 che consentiva il caricamento del sistema operativo *RT-11SJ*. La capacità di ciascuna unità removibile RL02 era di 10.4MB, mentre per le RL01 le disk cartridge potevano contenere un massimo di 5.2MB di dati.

10.4.8 SCHEDE BUS PROPAGATION M9202

M9202 (v. fig. 10.10) è un insieme di due schede interconnesse da un flat cable il cui scopo è quello di mettere in comunicazione due gruppi di slot *UNIBUS* disgiunti. Nel calcolatore del CSC una scheda è installata nello slot 9, a ridosso del backplane, mentre l'altra nello slot 11, sempre in prossimità del backplane.

10.4.9 GRANT CONTINUITY CARDS

Altre schede dal funzionamento interessante da analizzare sono le cosiddette *grant continuity cards*. Queste sono sostanzialmente delle schede passive con il solo scopo di propagare dei segnali di controllo attraverso gli slot del bus che



Figura 10.9: Slot 8 - Scheda RL11 Controller M7762



Figura 10.10: Slot 9 e 11 - Schede del modulo M9302

non sono utilizzati. Queste linee di segnale partono dalle schede processore e si propagano attraverso le varie schede, il cui collegamento avviene attraverso *daisy chain*. Qualora una particolare scheda "A" necessiti di avere accesso al bus, ad esempio per scrivere un dato, terminerà la propagazione del segnale di grant alla scheda successiva ("B"); qualora la scheda "A" non avesse la necessità di utilizzare il bus, propagherà il segnale di grant alla scheda "B", dandole la possibilità di richiedere l'uso del bus. Queste piccole schede sono presenti negli

10.4. LE SCHEDE LOGICHE DEL PDP-11

slot 9, 11, 13, 15, 17, 18, 19 del PDP-11/34 del CSC e un esempio è visibile nella figura 10.11.

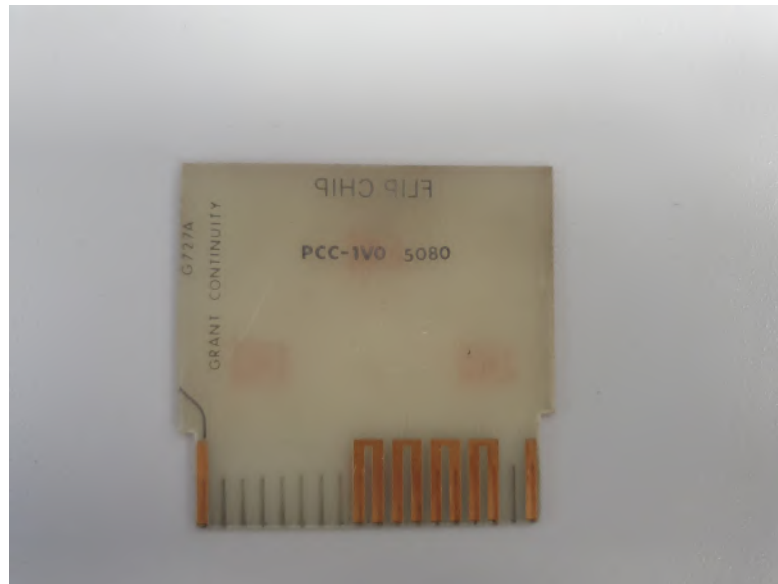


Figura 10.11: *Una Grant Continuity Card originale*

10.4.10 SCHEDA FLOPPY DISK CONTROLLER

Nello slot 12 è installata la scheda FDC (v. fig. 10.12), ovvero il controller floppy per due drive da 8 pollici compatibili con gli RX-02. La scheda presente è stata realizzata dalla Plessey Peripheral Systems ed include del firmware di controllo presente su 6 PROM modello 27S29, due PROM TBP18S030 e una PROM 82S131, delle quali è stato conservato il contenuto binario.

10.4.11 SCHEDA CONTROLLER 4I

Questa scheda risulta necessaria per interfacciare il modulo *Processore Sonoro 4i* al bus *UNIBUS* del PDP-11 operando un adattamento dei segnali al fine di programmare le unità logiche del processore 4i per la generazione di suoni. L'interfaccia è composta in gran parte da circuiti integrati TTL ma sono presenti anche 4 PROM modello 82S123 delle quali è stato fatto il dump binario (v. cap.



Figura 10.12: Slot 12 - Floppy Disk Controller

12). La scheda (v. fig. 10.13), realizzata con la tecnica *wire-wrap*⁵, è installata nello slot 14 del PDP-11.

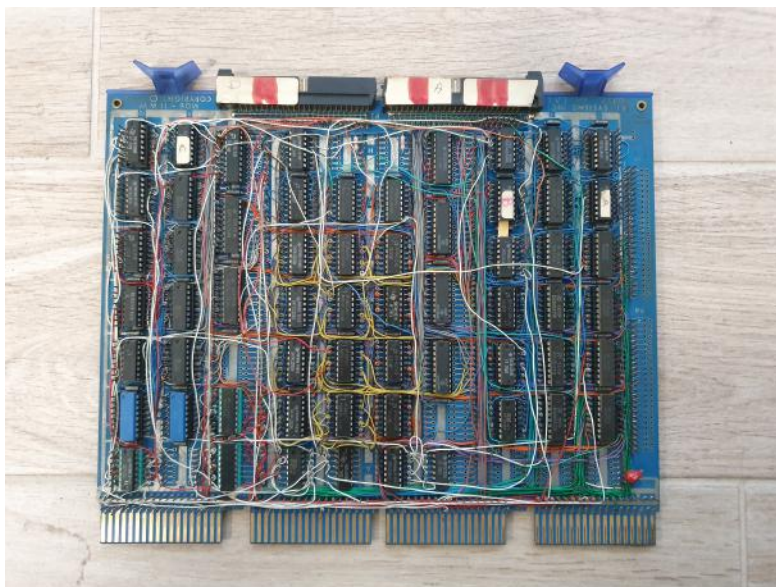


Figura 10.13: Slot 14 - La scheda controller per la 4i

⁵Wire-Wrap: tecnica per il cablaggio di schede elettroniche che consiste nell'avvolgere un cavo di rame (rivestito di guaina isolante) tra due reofori di componenti, avendo rimosso la guaina nella sezione di filo in prossimità dei collegamenti, in modo da realizzare una connessione elettrica tra i reofori.

10.4.12 SCHEDE MODEM DUP 11-DA M7867

Questa scheda (v. fig. 10.14) consente il collegamento per via seriale del PDP-11 con un modem *DECNET Link*, grazie al quale era possibile trasferire file tra due computer interconnessi in rete. E' installata sullo slot 16 nel PDP-11/34 del CSC.



Figura 10.14: Slot 16- La scheda Modem

10.4.13 SCHEDE BOOTSTRAP TERMINATOR M9312

Questa scheda (v. fig. 10.15) è di fondamentale importanza per il sistema, in quanto contiene il microcodice necessario a fare il boot del sistema operativo da una delle unità esterne. Presenta 4 zoccoli per ospitare altrettante PROM. Ciascuna PROM installabile poteva contenere il microcodice di boot per una precisa unità: ad esempio la PROM etichettata *811A9* consente il boot di *RT-11* da un'unità floppy *RX-02* mentre una PROM *751A9* il boot da una unità *RL01*. Ciascuna PROM può essere avviata inserendo dalla console il suo indirizzo corrispondente, dipendente dalla versione di PROM e dallo zoccolo su cui essa è installata. La numerazione degli zoccoli PROM, dalla maniglia di estrazione della scheda verso i contatti card edge, segue lo schema ROM 1, ROM 3, ROM 2, ROM 4. Per selezionare la PROM che si intende utilizzare per il bootstrap è necessario configurare il DIP-switch presente sulla scheda come riportato nel manuale Digital EK-M9312-TM-003 [4] Nella figura (fig. 10.16) sono elencate le

possibili impostazioni del DIP-switch per l'utilizzo della PROM 811A9 in ciascuno dei 4 zoccoli. E' possibile selezionare l'auto-boot del sistema (senza dover avviare la procedura da console) abilitando lo switch 2 ed è altresì possibile scegliere se eseguire il firmware diagnostico all'avvio del sistema.

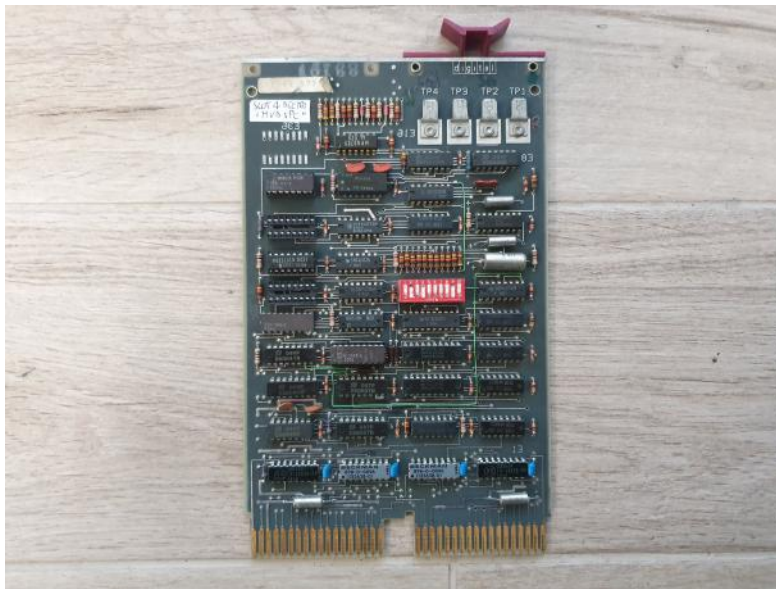


Figura 10.15: Slot 4 MUD- La scheda bootstrap terminator

Table C-11 ROM P/N 811A9

Device to be Booted	ROM Location from App B	Diagnostic	Unit	Starting Address*	Switch Settings S1 - for Power-Up Boot or Push-Button Boot of Device										SWR Code
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
RX02	ROM 1	NO	0	173004	OFF	†	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	NA
RX02	ROM 1	YES	0	173006	OFF	†	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	012
RX02	ROM 2	NO	0	173204	OFF	†	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	NA
RX02	ROM 2	YES	0	173206	OFF	†	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	212
RX02	ROM 3	NO	0	173404	OFF	†	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	NA
RX02	ROM 3	YES	0	173406	OFF	†	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	412
RX02	ROM 4	NO	0	173604	OFF	†	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	NA
RX02	ROM 4	YES	0	173606	OFF	†	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	612

Figura 10.16: Configurazioni DIP-Switch per settaggio Boot PROM

10.4.14 SCHEDA TERMINATORE M9302

L'ultima scheda installata nel sistema PDP-11/34 è la scheda M9302 (v. fig. 10.17) inserita nell'ultimo slot (slot 19) del bus UNIBUS. Il compito di questa scheda è ritornare al processore (CPU slot 1 e 2) uno specifico segnale, denominato SACK. Questo verrà generato dalla scheda M9302 qualora il segnale di grant (rif. 10.4.9) arrivasse al terminatore del bus in questione. Un compito ulteriore

10.4. LE SCHEDE LOGICHE DEL PDP-11

è quello di fornire dei resistori di pull-up per le linee del BUS con l'obiettivo di mantenere le linee a livello logico alto.

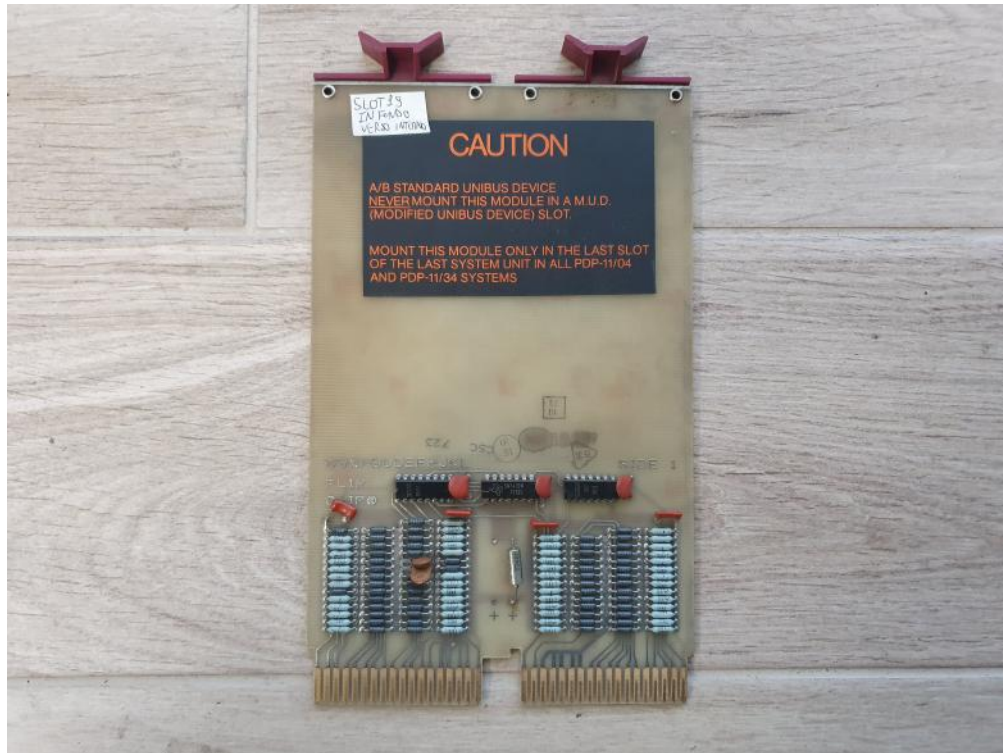


Figura 10.17: Slot 19 - Il terminatore M9302

11

EPROM, ROM e PROM

Oltre alla conservazione del software e dei dati da floppy disk risulta fondamentale trattare della conservazione del firmware dalle varie memorie di sola lettura, comuni a tutti i calcolatori a partire dagli anni settanta.

Con firmware si intende tutto il codice scritto in linguaggio macchina per consentire ad un calcolatore di svolgere le operazioni "base" all'avvio del un sistema: gestione dell'input-output, bootstrap a partire da un disco, ecc. contenuto in memorie quali EPROM, PROM, mask ROM.

Questa procedura di "dump" del file binario contenuto in una ROM risulta essenziale, in quanto con il passare del tempo questi componenti elettronici tendono a manifestare problemi di *bitrot*.

Questo fenomeno ha luogo quando uno o più bit di un byte di dati contenuto nel componente viene alterato, andando a compromettere il contenuto originale, rendendo quindi inutilizzabile il componente stesso e l'intero calcolatore.

Ne soffrono principalmente le memorie EPROM, che oltre a questo problema possono subire cancellazioni parziali in seguito ad un'esposizione prolungata alla luce, a causa della componente ultravioletta della stessa.

11.1 LE EPROM

Le EPROM sono un particolare componente elettronico costituente un elemento di memoria di sola lettura, con la possibilità di essere riscritto più volte mediante un apposito dispositivo programmatore, previa cancellazione median-

11.1. LE EPROM

te esposizione a luce ultravioletta.

Queste memorie sono finestrate, ovvero presentano una piccola apertura sulla parte centrale superiore che espone direttamente il *die* del chip alla luce visibile. L'apertura è protetta da un sottile strato in vetro per evitare che elementi estranei (polvere, umidità) entrino a diretto contatto con il semiconduttore (v. fig. 11.1). Grazie a questa apertura è possibile cancellare il contenuto di ogni cella della EPROM, rendendola vuota (*blank*). Una EPROM vuota avrà di default tutti i bit dei byte che la costituiscono posti a 1.

Affinché la cancellazione della memoria sia efficiente è necessario esporre il chip, con la finestra priva di eventuali etichette, alla luce ultravioletta per un periodo di tempo compreso tra 10 e 15 minuti. Esistono dei dispositivi realizzati appositamente per questo scopo che espongono il chip ad una luce UV con lunghezza d'onda di 254nm con timer di funzionamento impostabile dall'utilizzatore.

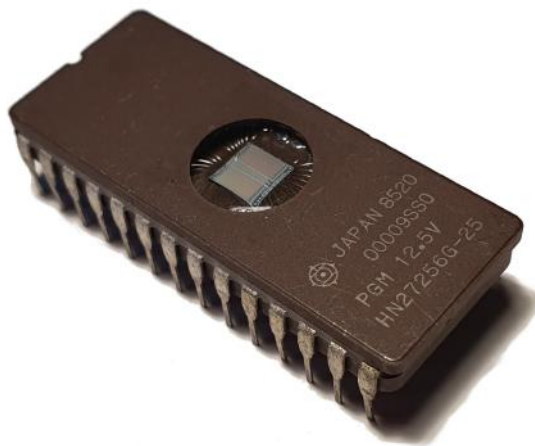


Figura 11.1: Una EPROM modello 27256 da 32KB

TIPICI DI EPROM

Ne furono realizzati vari modelli con diverse capacità di memoria (in kByte), 8 linee dati in uscita tipicamente (per le più recenti 16 linee) e diverse tensioni di funzionamento.

Il primo modello di EPROM realizzato è storicamente la Intel 1702 del 1972, una EPROM da 256 byte, con 8 linee dati, 8 linee di indirizzo e tripla alimentazione. Venne utilizzata in vari sistemi, tra i quali ad esempio l'Intel Intellec MDS-800

come BOOT EPROM.

In seguito venne realizzata la 2708, da 1KB, anch'essa con linee dati da 8 bit e tripla alimentazione. Trovò largo impiego in macchine CP/M da ufficio di fine anni settanta. In seguito, una EPROM realizzata che ebbe una larga diffusione, oltre che in personal computer anche in sistemi industriali e soprattutto schede arcade fu la 2716, da 2KB con alimentazione singola a +5V.

Viene riportato qui sotto un breve elenco di EPROM con relativa capacità in KB: 2716 (2KB), 2732 (4KB), 2532 (4KB, pinout diverso da 2732), 2764 (8KB), 2564 (8KB, pinout diverso da 2764), 27128 (16KB), 27256 (32KB), 27512 (64KB), 27C1001 e 27C010 (128KB).

Le EPROM vennero utilizzate principalmente in primi prototipi di un calcolatore piuttosto che console o dispositivo industriale. Risultavano particolarmente adatte per rapide modifiche e bug fix del firmware.

11.2 LE MASK-ROM

Sono dei particolari chip di memoria ROM (sola lettura), disponibili con un contenuto scritto in fabbrica seguendo delle *maschere*, ovvero un sistema di costruzione che prevede la scrittura di un codice per una applicazione particolare non più modificabile in seguito.

Furono utilizzate da costruttori di personal computer dopo aver verificato che il loro firmware sviluppato non necessitava di ulteriori aggiornamenti o bug fix, con lo scopo principale di risparmiare sui costi di produzione: produrre un lotto di mask ROM risultava più conveniente, su larga scala, che non acquistare diverse migliaia di EPROM da dover poi scrivere in azienda.

Spesso queste mask ROM venivano realizzate seguendo la compatibilità pin-to-pin con una particolare EPROM, anche se talvolta alcune linee di controllo, ad esempio i CHIP-SELECT, invece di essere attivi-bassi come nelle EPROM erano attivi-alti. Nell'immagine (v. fig. 11.2) è visibile un esempio di Mask ROM utilizzata su un floppy drive Commodore 8250LP.



Figura 11.2: Una Mask ROM MOS 901888-01 proveniente da un Commodore 8250LP

11.3 LE PROM

Un'ulteriore famiglia di memorie di sola lettura è costituita dalle PROM (v. fig. 11.3).

Questi sono chip di memoria che si distinguono dalle EPROM o M-ROM in quanto hanno una capacità di memorizzazione (in byte) inferiore rispetto ad una EPROM.

In molti modelli inoltre le linee dati sono 4, contrariamente alle EPROM dove l'output dati è tipicamente a 8 bit.

Queste vennero spesso utilizzate per sintetizzare elementi logica combinatoria, permettendo quindi di risparmiare spazio su un circuito, integrando di fatto più logiche che avrebbero altrimenti dovuto essere implementate con un numero cospicuo di TTL.

Altre vennero invece utilizzate per contenere il firmware di bootstrap di un calcolatore, come nel caso del PDP-11/34.

Queste memorie erano OTP, ovvero one time programmable. Dopo la prima programmazione non era più possibile modificarne il codice in esse contenuto.

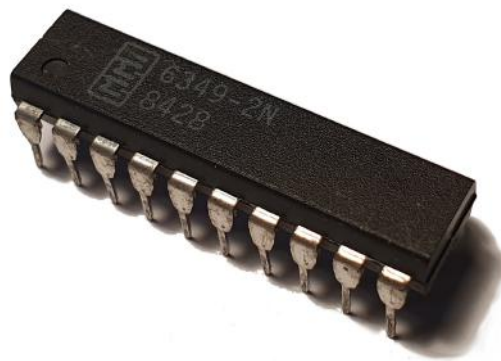


Figura 11.3: *Una PROM MMI 6349-2N con organizzazione 512x8 bit*

12

La Conservazione del Firmware

Al giorno d'oggi in commercio è possibile acquistare ancora programmatori di EPROM moderni, con interfaccia USB verso un PC host.

Questi riescono ancora a supportare molti dispositivi, anche piuttosto datati, per conservarne in formato binario il contenuto e consentire anche la riscrittura di un componente (vero solo per le EPROM) avendo a disposizione un chip old-stock da scrivere.

Tuttavia, non tutte le memorie che si ha la necessità di leggere sono supportate. Questo problema può essere molto spesso risolto mediante l'utilizzo di appositi adattatori, per componenti EPROM/PROM/ROM che abbiano caratteristiche in comune o comunque compatibili con una (o più) EPROM contenute nella lista di dispositivi supportati dal programmatore che si vuole utilizzare.

12.1 CONSERVAZIONE DEL FIRMWARE DEL PDP-11 DEL CSC

Un esempio pratico di questo concetto proviene direttamente dal lavoro svolto nel calcolatore PDP-11 (e scheda 4i) del Centro di Sonologia Computazionale di Padova.

Si è avuta la necessità di leggere una PROM, modello 82S123, proveniente dal prototipo della scheda di interfaccia per il processore 4i, installata nel PDP-11. I programmatori di PROM non sono più in produzione e si è dovuto utilizzare un programmatore di EPROM moderno, il *MiniPro TL-866A*.

LETTURA DELLE PROM 82S123

La 82S123 non è supportata dal TL866A, ma la EPROM 2716 sì. La PROM 82S123 è da 32 byte con linee dati in uscita a 8 bit. La 2716 ha 2KB di capacità di memorizzazione e anch'essa bus dati a 8 linee.

Vengono riportati in figura 12.1 i pinout dei due chip, provenienti dai datasheet originali [10] [5].

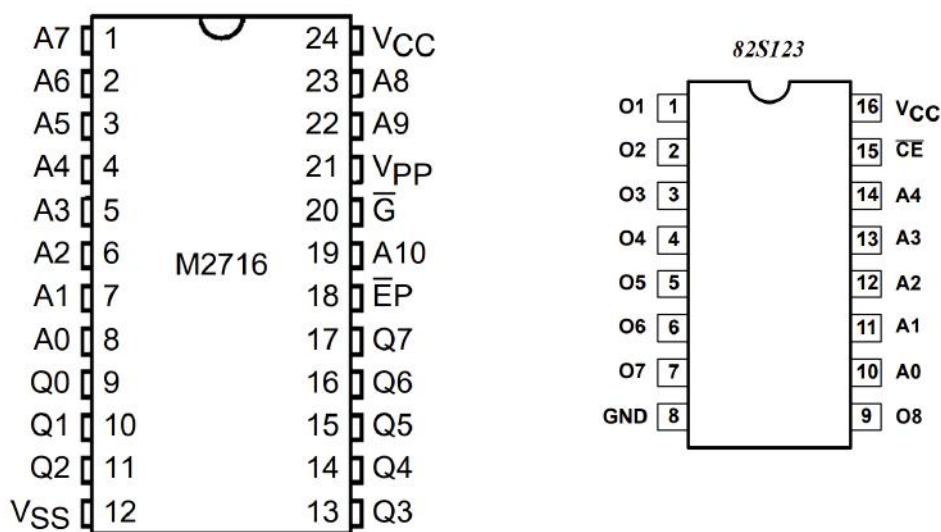


Figura 12.1: Il confronto tra il pinout di una EPROM 2716 e una PROM 82S123

E' immediato notare che il programmatore, se impostato in modalità "lettura di EPROM 2716" riuscirà ad indirizzare sicuramente ogni cella di memoria della PROM che si vuole conservare. Per fare ciò è necessario utilizzare un adattatore (v. fig. 12.2) che associ le 5 linee di indirizzo della PROM (A0, A1, A2, A3, A4) alle linee di indirizzo in uscita dal programmatore, che se correttamente settato, si troveranno in corrispondenza delle linee A0-A4 visibili nel pinout della 2716 ai terminali 8,7,6,5,4 rispettivamente (v. fig. 12.3).

E' necessario inoltre associare le uscite dati della 82S123 (terminali O1 (LSB) - O8 (MSB)) con i rispettivi ingressi dati del programmatore che seguiranno sempre lo schema del pinout della EPROM 2716 (Q0 (LSB) Q7 (MSB)).

Quindi i collegamenti da fare dal programmatore verso la PROM per il bus dati risulteranno come riportati in figura 12.4.

Rimangono infine da rimappare le linee di alimentazione. La PROM 82S123 e le EPROM 2716 funzionano entrambe con alimentazione VCC a +5V con ingressi e uscite a livelli TTL compatibili. La 2716 ha il potenziale di riferimento (GND)

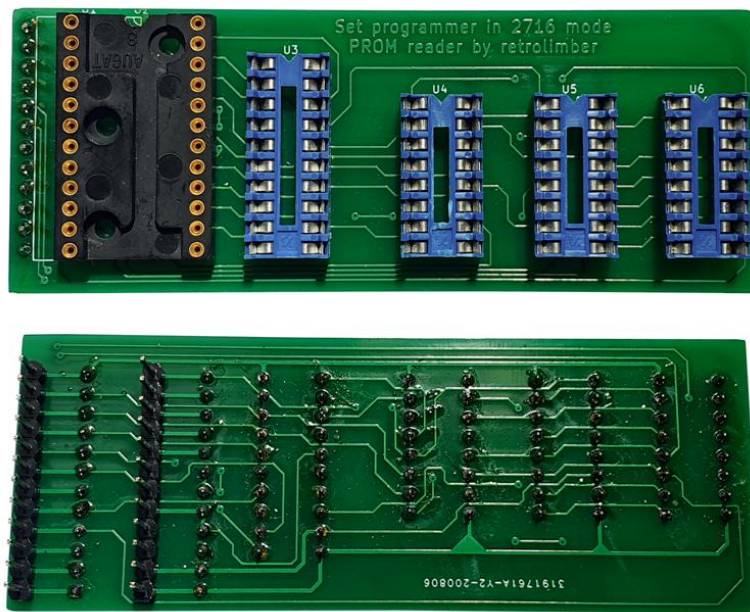


Figura 12.2: L'adattatore per leggere PROM in modalità 2716 con il TL866A

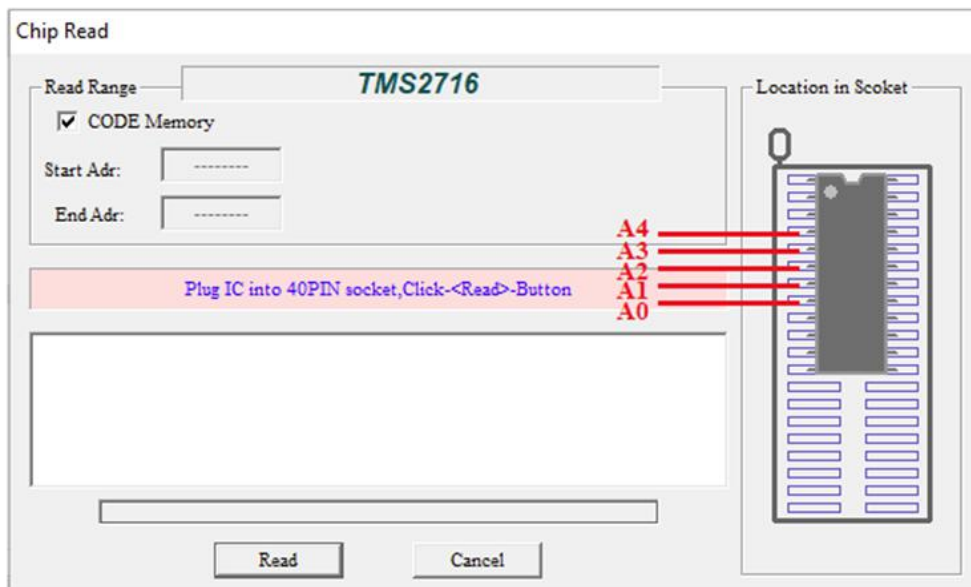


Figura 12.3: Il collegamento delle linee di indirizzo dal programmatore alla PROM

al pin 12, mentre la 82S123 al pin 8. La 2716 ha alimentazione VCC a +5V al pin 24 mentre la 82S123 al pin 16.

Come ultima connessione rimane il terminale di CHIP-ENABLE della PROM al terminale sul programmatore che corrisponde alla linea G della EPROM 2716. Questi dettagli sono illustrati nella figura 12.5.

12.1. CONSERVAZIONE DEL FIRMWARE DEL PDP-11 DEL CSC

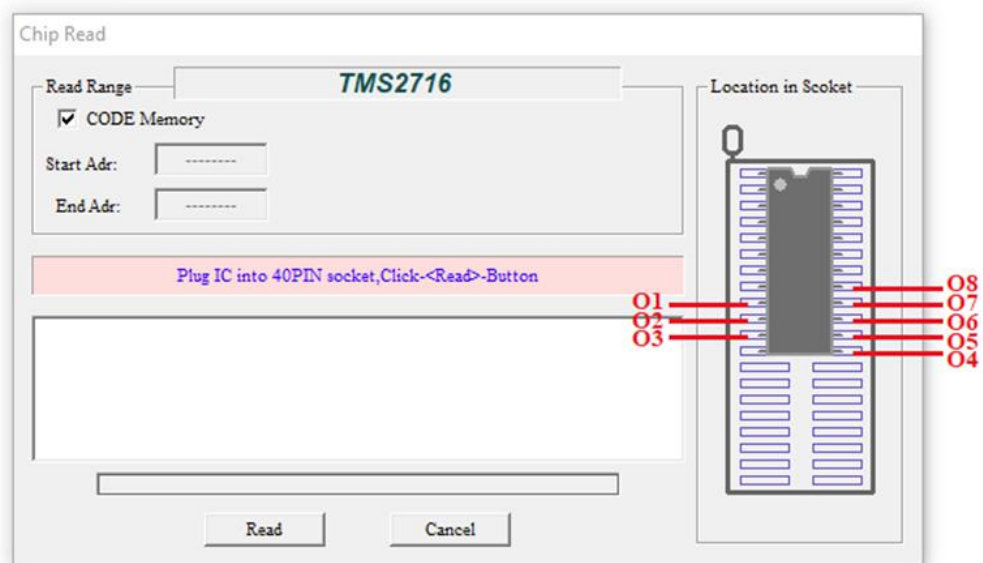


Figura 12.4: Il collegamento delle 8 linee dati dal programmatore alla PROM

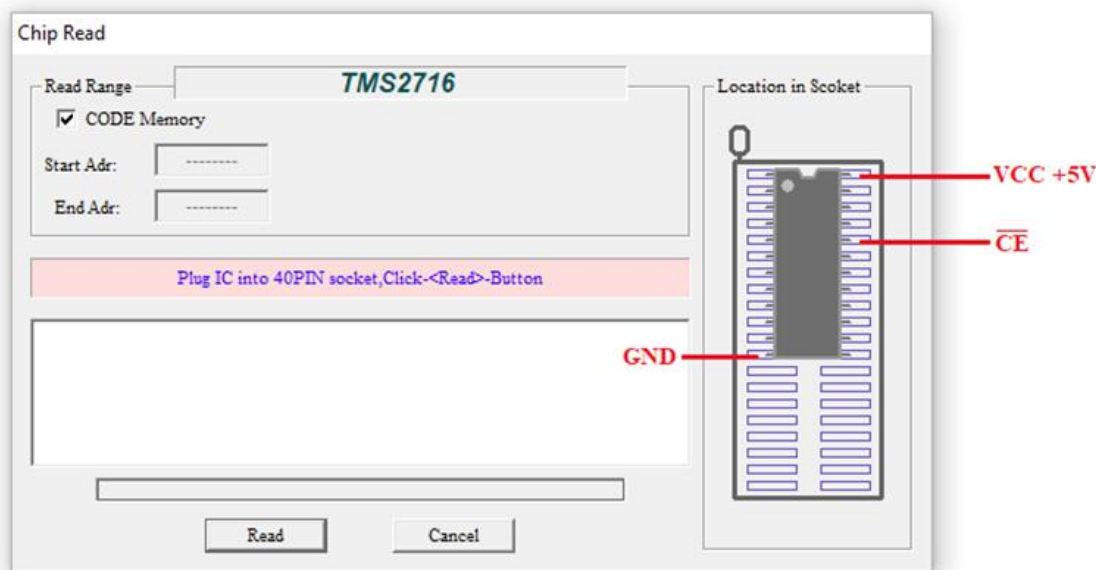


Figura 12.5: Il collegamento delle linee di alimentazione e chip-select

Queste connessioni possono essere sintetizzate in un apposito circuito adattatore (v. fig. 12.2), per garantire la stabilità dei collegamenti e disponibilità di un setup di lettura, pronto all'uso, utile per eventuali utilizzi futuri.

Si è deciso di integrare il supporto anche di altri modelli di PROM leggibili sempre in modalità EPROM 2716 dal programmatore.

12.2 IL PROCESSO DI LETTURA DI UNA PROM

Per effettuare la lettura di una memoria EPROM/ROM/PROM è necessario estrarla dalla scheda elettronica di provenienza.

Molto spesso queste memorie sono installate su un supporto denominato *zoccolo*, che consente una rapida estrazione e reinserimento del componente senza la necessità di doverlo dissaldare e poi in seguito saldare nuovamente.

Le EPROM/PROM spesso utilizzano questo supporto in quanto il firmware in esso contenute può essere aggiornato in determinate circostanze. Nel nostro caso ci si è posti l'obiettivo di conservare il firmware contenuto nella scheda d'interfaccia prototipo 4i per averne una copia digitale di backup. Infatti una finalità del dump di EPROM/PROM/ROM, oltre alla conservazione volta eventualmente all'emulazione è anche quella della sostituzione del componente in caso di guasto con un ricambio moderno, implementato ad esempio con una FPGA ⁶.

Infatti qualora vi fosse un guasto a una EPROM/PROM e questa non fosse stata precedentemente letta, la realizzazione del ricambio per continuare l'uso della macchina originale non sarebbe possibile, così come non sarebbe possibile l'emulazione.

La scheda controller 4i presente nel PDP-11 è la seguente e contiene 4 chip PROM modello 82S123, analizzato in precedenza.

Sono cerchiare in giallo (v. fig. 12.6) le 4 PROM 82S123 di cui è dotata la scheda. Tutte e 4 così come il resto dei circuiti integrati, sono installate su zoccolo.

Verrà illustrata in seguito la procedura di lettura della PROM D. Il processo di lettura delle PROM A, B, C è analogo a quello in oggetto.

ESTRAZIONE DEL CHIP ED INSTALLAZIONE SU ADATTATORE

Come primo passo si è estratto il chip 82S123 (PROM D) dallo zoccolo utilizzando un estrattore di circuiti integrati che ne garantisce la rimozione dallo zoccolo senza danneggiare i terminali del componente. Si è poi inserito il chip sull'adattatore illustrato, in posizione U4, predisposta alla lettura di un chip modello 82S123. Infine si è poi inserito l'adattatore nello zoccolo ZIF a 40 pin

⁶FPGA: Field Programmable Gate Array, ovvero un dispositivo logico programmabile.

12.2. IL PROCESSO DI LETTURA DI UNA PROM

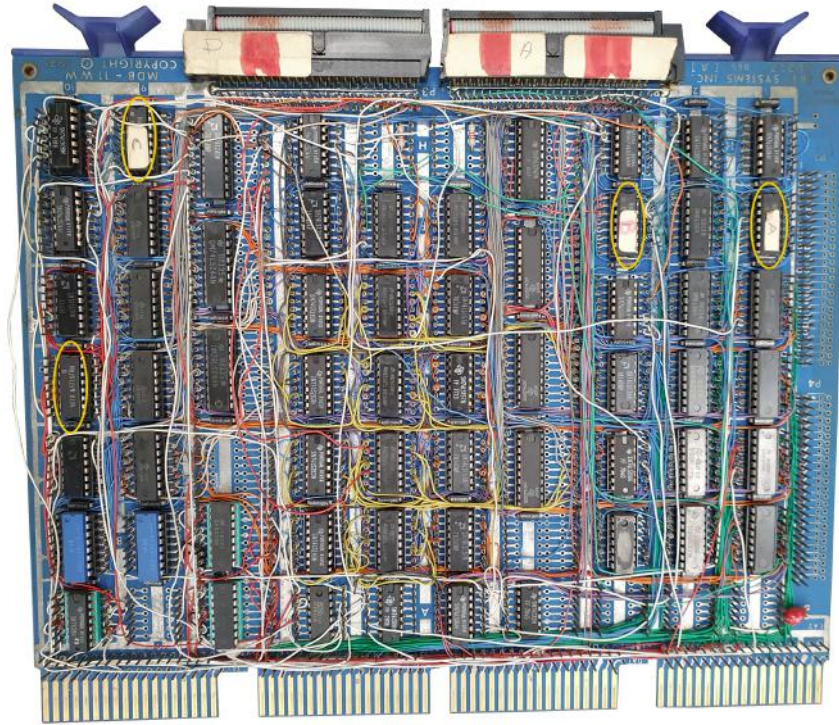


Figura 12.6: La scheda controller 4i con le 4 PROM cerchiare in giallo

del programmatore, che garantisce l'ancoraggio del chip che si vuole leggere/-programmare mediante la chiusura di una levetta. Per l'inserimento si è fatto riferimento alla figura 12.7. Si è sempre fatto riferimento alle *tacche* presenti

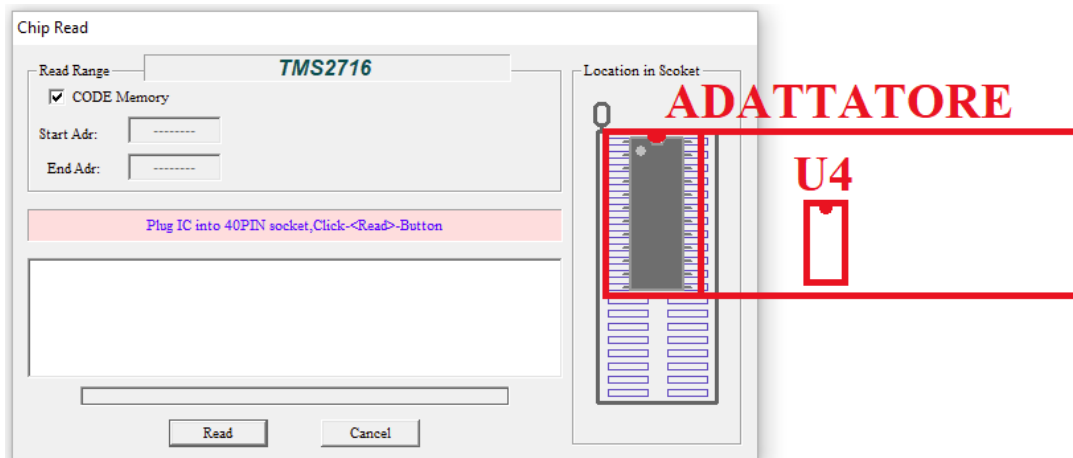


Figura 12.7: Schema del corretto inserimento dell'adattatore sul programmatore TL866A

sugli zoccoli per il corretto inserimento dei componenti. Invertire il verso di inserimento di una PROM 82S123 comporta l'applicazione di una tensione inversa rispetto quella prevista con il risultato di un danno irreversibile e fatale per il componente. Il setup risultante si presentava come in figura 12.8.

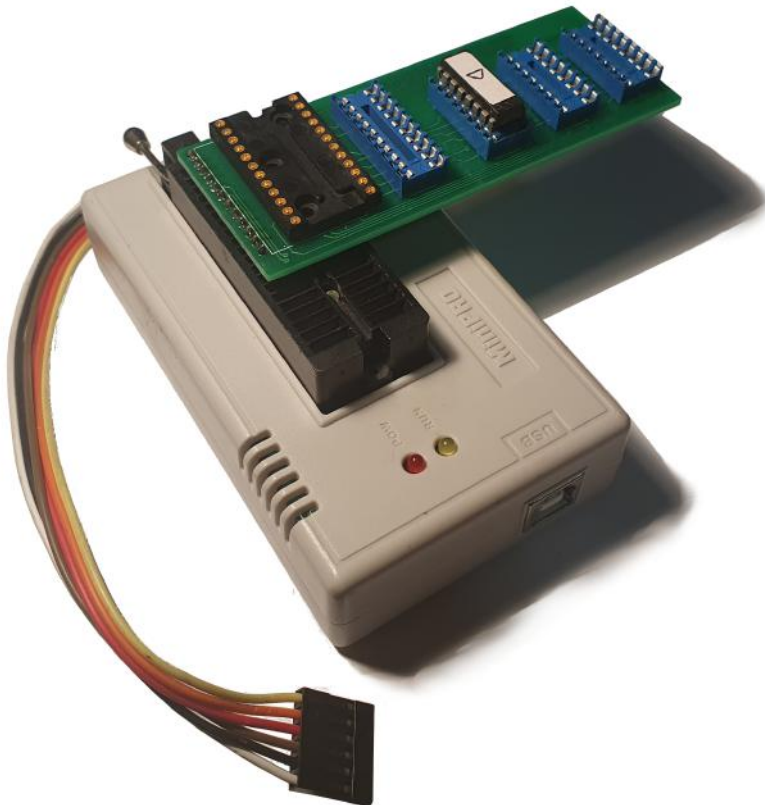


Figura 12.8: *Il TL866A con l'adattatore + PROM inserito*

Collegato il TL866A al PC host mediante un cavo USB tipo A tipo B, si è lanciato il software di dialogo con il programmatore e si è settato il modello EPROM 2716 dal menu di selezione in alto a sinistra.

Si è scelto TMS2716, in quanto quel profilo componente presenta disabilitata in automatico la funzione "Check ID", che consente di verificare che il componente in esame sia effettivamente quello previsto dal profilo, con corrispondenza di marca e modello.

A questo punto, tramite il tasto READ, è stato possibile procedere alla lettura, con l'esito visibile in figura 12.9.

12.2. IL PROCESSO DI LETTURA DI UNA PROM

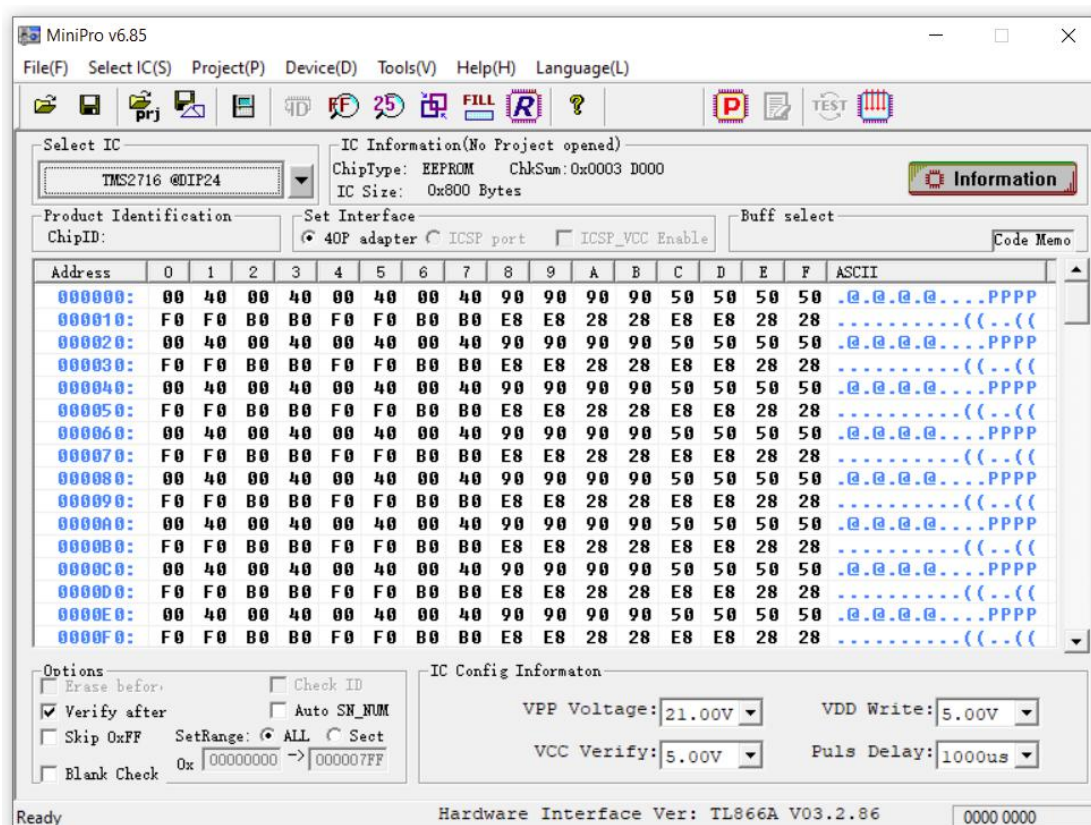


Figura 12.9: Il software host del TL866A a lettura della PROM completata.

ANALISI E MANIPOLAZIONE DEL DUMP

Come è possibile notare dall'output in codice ASCII, posto sulla colonna di destra, vi è una ridondanza dell'informazione letta.

Sulla colonna di sinistra sono riportati gli indirizzi di lettura in formato esadecimale e, nel riquadro centrale, sono riportati i singoli byte letti codificati in esadecimale. Ognuna delle righe orizzontali rappresenta 16 byte di informazione.

Si può facilmente notare che la terza riga e la quarta riga sono rispettivamente la copia della prima riga e della seconda riga, e lo stesso vale per la quinta e la sesta e così via.

La prima riga e la seconda compongono 32 byte di informazione, che è esattamente la capacità in byte della PROM 82S123. Si ha che questo pattern (composto dalle prime due righe) è ripetuto in tutto 64 volte nel file prodotto dal programmatore, perché una EPROM 2716 è da 2KB, quindi 2048 byte ovvero 64 x 32 byte. Una volta esportato il file .BIN dal software host del programmatore è possibile

utilizzare un editor per ridurre il file ai soli primi 32 byte. Un software che permette di eseguire questa operazione è *HxD HEX Editor*.

Dalla schermata di avvio di HxD è sufficiente caricare il file ottenuto dal programmatore mediante drag-and-drop (v. fig. 12.10).

Selezionando il contenuto degli indirizzi da 000020 a 0007F0 e premendo CANCEL sulla tastiera del computer sarà possibile isolare i primi 32 byte che corrispondono al codice effettivamente presente dentro la memoria PROM 82S123. Una volta completato questo passaggio è possibile, mediante l'icona "Save", sovrascrivere il file di partenza o rinominarlo e salvarlo a parte (File Save as).

Il dump binario può ora essere archiviato per esigenze future.

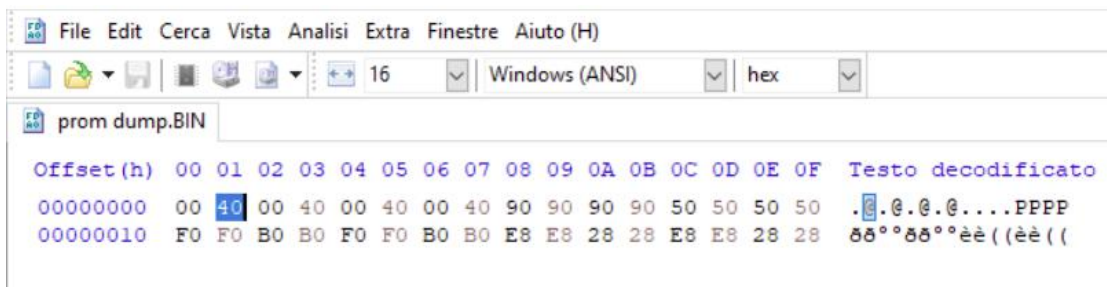


Figura 12.10: *Il dump della PROM D nel software HxD*

12.3 VERIFICA DELLA CORRETTEZZA DELLA LETTURA

Si è deciso di fare un ulteriore test per verificare la correttezza del file binario letto dalla PROM D.

L'idea alla base della verifica sta nell'interpretazione di quanto è stato letto con una verifica diretta via hardware.

Si è installata la PROM D 82S123 su una *bread-board* (basetta sperimentale) e si sono collegate le uscite dati a dei diodi LED con opportuna resistenza in serie per limitarne la corrente.

Si è collegato a massa il pin di abilitazione della PROM (CE), in quanto attivo basso, e si sono collegate le linee di indirizzo A4, A3, A2, A1 a massa (livello logico 0 in ingresso) e la linea A0 a +5V (livello logico alto 1 logico). L'alimentazione del circuito (+5VDC) è stata fornita da un ATX.

Ponendo la linea di indirizzo A0 a livello logico 1 e le altre linee di indirizzo a livello logico 0, si è selezionata la cella di memoria contenente il byte numero 1 (con i byte numerati a partire da 0). Ora, se si fa riferimento all'immagine

12.3. VERIFICA DELLA CORRETTEZZA DELLA LETTURA

precedente, si noterà che il contenuto esadecimale della cella puntata è 0x40. L'output dei LED ha fornito il risultato visibile nella figura 12.11.

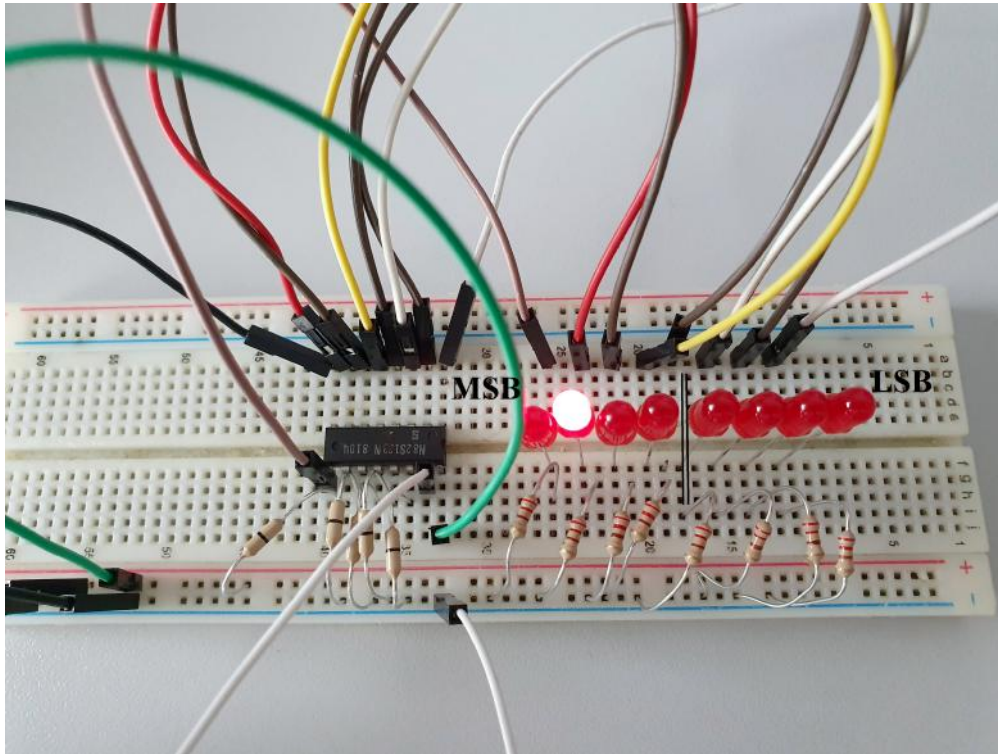


Figura 12.11: Il circuito per la verifica hardware del contenuto della PROM

Viene riportata nella figura 12.12 l'indicazione del bit più significativo (MSB) e di quello meno significativo (LSB). E' possibile dividere il byte rappresentato in esadecimale come "40" in due *nibble*, ovvero due blocchi da 4 bit, utilizzati anche per le rappresentazioni BCD (binary coded decimal). Si considerino separatamente i nibbles: Il *nibble* più a destra, nel circuito realizzato, è costituito

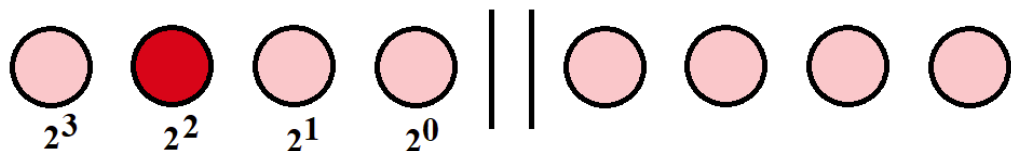


Figura 12.12: Schema dei due nibble rappresentati dai LED

da 4 LED spenti. I LED spenti corrispondono ad uno stato logico basso (0) in uscita dalle corrispondenti linee dati della PROM.

Si è quindi trovato che il primo *nibble* da destra rappresenta uno zero.

Il *nibble* più a sinistra, nel circuito realizzato, presenta tre LED spenti e uno acce-

so. E' possibile dare un "peso" a ciascuno dei 4 LED, tenendo sempre presente che il LED più a sinistra rappresenta il bit più significativo sia nel byte completo che nel nibble che si sta considerando. In riferimento alla figura sopra, il LED acceso è quello in posizione due. I 4 LED sono la rappresentazione del nibble 0100, dove l'1 è rappresentato dal LED acceso.

Il nibble 0100 corrisponde al valore decimale 4.

I LED, esaminati tramite decodifica BCD, rappresentano l'informazione esadecimale 0x40, che è quella contenuta effettivamente nella cella puntata e che ci si aspettava di trovare.

Si è quindi verificato in questo modo il corretto funzionamento del circuito di lettura, ripetendo anche il test con altre celle selezionate a campione.

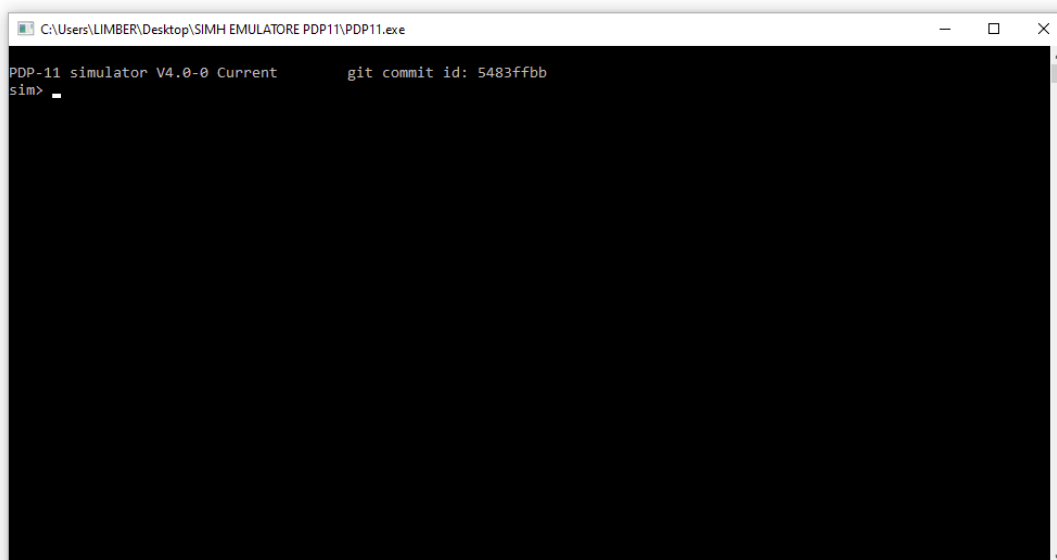
13

Emulazione del Sistema PDP-11/34

L'obiettivo finale delle operazioni di conservazione attiva del PDP-11/34 prevedeva la possibilità di poterlo emulare con lo scopo di eseguire il software sviluppato dal CSC su una macchina virtuale. Per fare questo si è utilizzato un efficiente emulatore di sistemi informatici storici: *SIMH*.

SIMH è grado di emulare i sistemi PDP-11 e in particolare il PDP-11/34, se opportunamente configurato.

Il suo prompt iniziale si presenta come riportato nella schermata visibile nella figura 13.1.



```
C:\Users\LIMBER\Desktop\SIMH EMULATORE PDP11\PDP11.exe
PDP-11 simulator V4.0-0 Current      git commit id: 5483ffbb
sim> _
```

Figura 13.1: La schermata di avvio di *PDP11.exe* di *SIMH*

SETUP DELL'EMULATORE

Prima di poter effettivamente emulare il PDP-11, caricando il suo sistema operativo RT-11 ed eventuale software aggiuntivo (ad esempio quello sviluppato per la 4i) deve essere configurato all'emulazione di una precisa macchina della famiglia PDP-11, con precisazione dell'ammontare di memoria RAM, della presenza di un terminale seriale e altri parametri.

E' inoltre doveroso precisare da quale unità si intende fare il boot del sistema operativo. Tale unità verrà emulata internamente a SIMH e farà riferimento a file immagine di disco anziché ai supporti fisici reali del calcolatore (i floppy RX02 piuttosto che il removable hard drive RL02).

Il PDP-11/34 prevedeva l'uso di un terminale seriale per consentire all'utente l'uso del sistema operativo RT-11 e delle varie applicazioni. Anche il terminale può essere emulato sul PC host dove viene fatto girare l'emulatore SIMH. Questa scelta non è obbligatoria in quanto il software SIMH mette già a disposizione un terminale emulato integrato.

IL SOFTWARE puTTY

Un buon software per l'emulazione di un terminale seriale o Telnet è "puTTY". puTTY per poter funzionare come terminale del PDP-11 deve essere collegato, in modo virtuale, al simulatore SIMH. Questi due software contenuti nel PC host usato per l'emulazione devono essere interconnessi mediante un protocollo di comunicazione, che è Telnet. Viene riportato in seguito l'elenco di istruzioni impartite a SIMH per configurare l'emulazione del PDP-11/34 con terminale VT-100 emulato da "puTTY".

```
SET CPU 11/34          ;EMULA IL PDP-11/34
SET CPU 256K           ;ASSOCIA ALLA CPU 256K RAM
SET TTI 8B             ;RICEVI CARATTERI 8BIT DA TERMINALE EMULATO
SET TTO 8B             ;TRASMETTI CARATTERI 8BIT DA TERMINALE EMULA-
TO
SET RX DISABLED        ;DISABILITA' L'UNITA' RX (IN CONFLITTO CON
RY)
SET RY ENABLED         ;ABILITA' L'UNITA' RY (DRIVE RX-02)
AT RY0 BOOT.IMG        ;ASSOCIA AL DRIVE RX-02 L'IMMAGINE DEL DI-
```

SCO DI BOOT RT-11

SET CONSOLE TELNET=1111 ;COLLEGAMENTO TELNET CON PUTTY

BOOT RY0 ;BOOT DI RT-11 DA RY0

Una volta impartite queste istruzioni in sequenza a SIMH si dovrà configurare il puTTY come illustrato in figura 13.2.

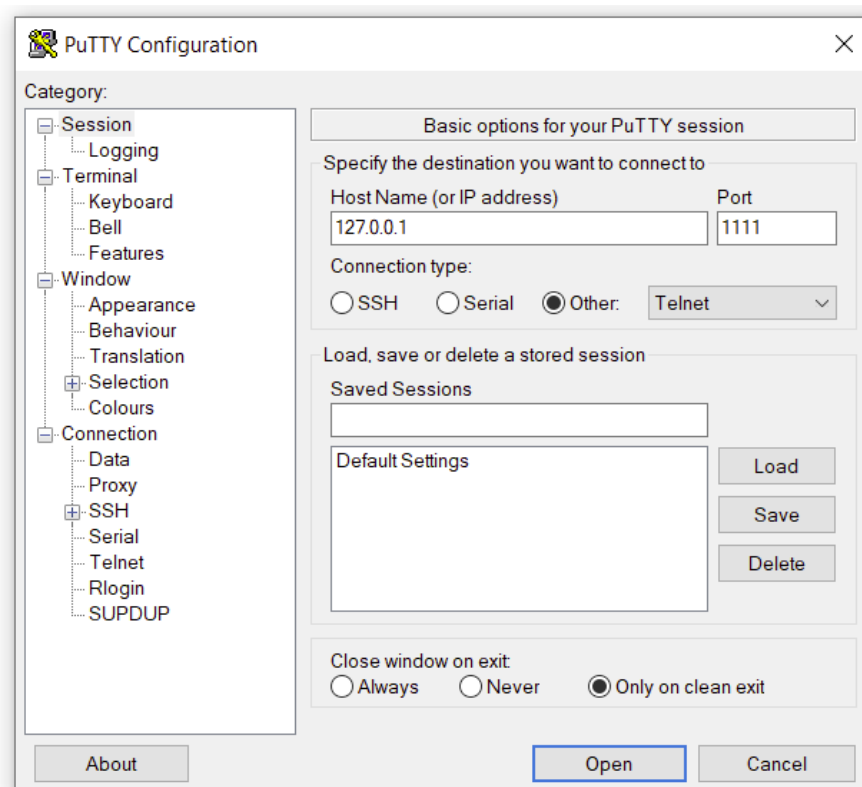


Figura 13.2: La schermata di configurazione di puTTY

E' necessario impostare l'indirizzo riferito al simulatore SIMH (localhost): 127.0.0.1 e la porta Telnet 1111. Il valore 1111 è arbitrario ma deve essere lo stesso riportato nella linea di comando SIMH:

SET CONSOLE TELENET=1111

Occorre inoltre verificare che nella cartella dove è contenuto l'emulatore SIMH PDP11.EXE sia presente il file immagine di disco di RT-11.

Fatto questo, se le precedenti operazioni sono state correttamente eseguite, nella

finestra del terminale puTTY apparirà la schermata iniziale di RT-11. Viene riportata una schermata dell'emulatore in funzione (v. fig. 13.3) dopo la stampa della directory del disco di boot (mediante il comando DIR di RT-11) il quale, come è possibile vedere, include dei driver per la scheda 4i denominati *RTI4I1.SAV* e *NOTOLD.SAV*.

```

RT-11SJ (S) V05.00
?KMON-F-Line too long

.
.DIR
LP .SYS 2 10-Oct-85 NL .SYS 2 10-Oct-85
DY .SYS 4 10-Oct-85 TT .SYS 2 10-Oct-85
DL .SYS 5 10-Oct-85 LD .SYS 8 10-Oct-85
LS .SYS 2 10-Oct-85 RT11SJ.SYS 72 10-Oct-85
BA .SYS 7 10-Oct-85 SWAP .SYS 26 12-Mar-83
PIP .SAV 29 12-Mar-83 DUP .SAV 45 12-Mar-83
DIR .SAV 19 12-Mar-83 IND .SAV 51 12-Mar-83
RESORC.SAV 22 12-Mar-83 KED .SAV 59 12-Mar-83
MACRO .SAV 60 12-Mar-83 CREF .SAV 6 12-Mar-83
LINK .SAV 49 12-Mar-83 LIBR .SAV 24 12-Mar-83
FILEX .SAV 22 12-Mar-83 SRCCOM.SAV 26 12-Mar-83
BINCOM.SAV 24 12-Mar-83 SLP .SAV 13 12-Mar-83
DUMP .SAV 9 12-Mar-83 SIPP .SAV 21 12-Mar-83
BUP .SAV 37 12-Mar-83 PAT .SAV 10 12-Mar-83
BATCH .SAV 26 12-Mar-83 SYSLIB.OBJ 220 12-Apr-84
FORTRA.SAV 209 12-Apr-84 SYSMAC.SML 45 12-Mar-83
HELP .SAV 135 12-Mar-83 HELP .EXE 7 12-Mar-83
HELP .TXT 127 12-Mar-83 ODT .OBJ 8 12-Mar-83
SAFLOP.TXT 2 23-Jun-86 RK .SYS 3 04-Mar-86
SL .SYS 14 17-Jun-85 STARTS.COM 1 17-Jun-86
RTI4I1.SAV 36 15-Mar-87 NOTOLD.SAV 88 22-Aug-88
42 Files, 1577 Blocks
385 Free blocks

```

Figura 13.3: La directory del floppy RT-11 con i driver per la 4i

A questo punto la macchina emulata è utilizzabile per esplorare i file su immagine di disco ed eseguire il software realizzato dal CSC. Per quest'ultimo aspetto però è necessaria un'emulazione dell'hardware contenuto nella scheda fisica 4i, al fine di garantirne l'utilizzo.

14

Apple II Clone

Durante il periodo di tirocinio presso il Centro di Sonologia Computazionale di Padova, si sono presi in considerazione anche altri computer in uso presso il CSC negli anni 80.

Uno di questi è un clone italiano dell'Apple II (v. fig. 14.1).



Figura 14.1: *Il clone Apple II, venduto dalla OSAT Elettronica*

Il computer è stato recuperato assieme ad un monitor a fosfori verdi C.A.&

G. e a due unità floppy compatibili con il controller Apple Disk II, prodotte dalla C.T.S. Elettronica. La scheda madre e molte schede contenute all'interno del computer, installate sugli slot di espansione interni, sono state prodotte dalla ASEM di Buia (UD). Tra le schede di espansione installate si trovano:

1. Scheda di espansione RAM, per portare il sistema da 48KB di RAM a 64KB
2. Scheda seriale con controller 6551, originale Apple
3. Scheda ASEM 80 col, per avere in uscita video a 80 colonne anziché 40
4. Scheda co-processore Z80 (da collez. Liberalato) per il boot di CP/M-80
5. Scheda controller floppy compatibile con la Apple Disk II

Il firmware presente sulla scheda madre è contenuto in 7 EPROM modello 2716. Queste costituiscono un totale di 14KB di codice in esse contenuto, dove però 2KB sono dedicati al generatore di caratteri.

Nei calcolatori anni 80 era molto comune l'uso di EPROM appositamente programmate per generare i caratteri: di fatto rappresentavano un insieme di matrici di pixel rappresentative di ogni singolo carattere (alfanumerico o grafico). I rimanenti 12KB contengono l'*AppleSoft BASIC*, ovvero un interprete di comandi BASIC che consente l'implementazione di programmi perlopiù didattici. Il Microsoft BASIC, dal quale l'*AppleSoft BASIC* è derivato, fu un linguaggio di programmazione che venne largamente utilizzato per insegnare i fondamenti della programmazione ad utenti che non avevano mai utilizzato un calcolatore elettronico. La diffusione di queste conoscenze ebbe maggiore diffusione soprattutto a seguito dell'avvento degli home computer nelle case, tra i quali ricordiamo il *Commodore 64*.

Il calcolatore compatibile Apple II in oggetto presenta delle EPROM modificate rispetto le ROM originali, queste EPROM differiscono dalle originali per la stringa stampata all'avvio del BASIC: il computer originale stampa la stringa "APPLE II" centrata sulla riga superiore, mentre il clone in esame presenta la stringa "****" nella stessa posizione.

E' doveroso precisare che tale modifica al firmware per alterare la stringa di avvio andava ad impedire il caricamento del sistema operativo ProDOS, in quanto questo verificava il contenuto di tali celle delle ROM durante il processo di caricamento, per verificare l'originalità della macchina.

14.1 CONSERVAZIONE DEL FIRMWARE DEL CLONE

Altre EPROM sono presenti sulla scheda 80 colonne ASEM, sulla scheda seriale Apple, e sul controller floppy. Queste sono tutte delle EPROM modello 2716 che sono state lette mediante il programmatore TL866 in tale modalità (TMS2716).

La scheda controller floppy, sprovvista di indicazioni riguardo marca e modello, è abbastanza inusuale (v. fig. 14.2). Rispetto le schede Disk II originali, che in-

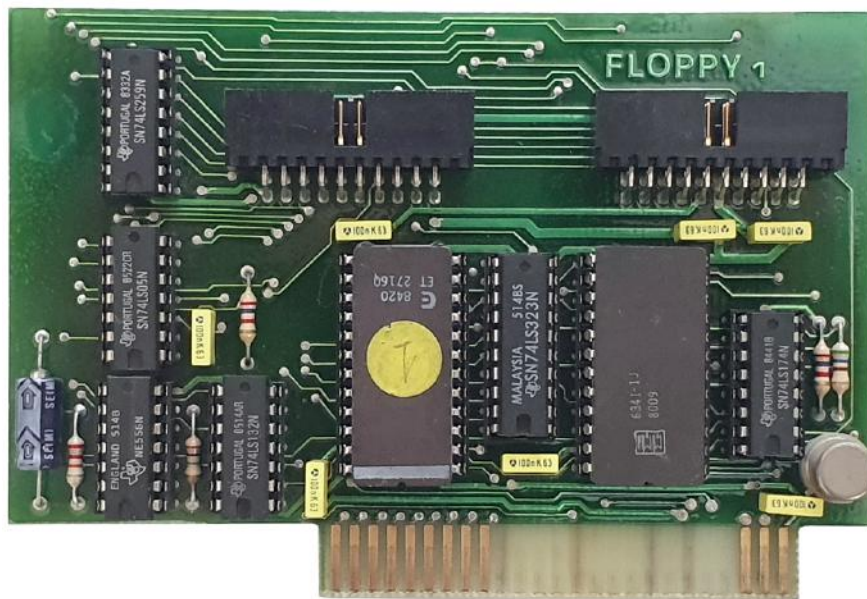


Figura 14.2: Il controller floppy - clone dell'Apple Disk II

tegravano due PROM (MMI6349-2N compatibili), la scheda in oggetto presenta una PROM 2716 e una PROM MMI 6341-1J.

La MMI 6341-1J è una PROM da 512 byte, con bus dati a 8 bit. Questa è compatibile con le Signetics 82S141.

E' stata letta in modalità EPROM 2716 mediante un apposito adattatore, rimappando linee dati, linee indirizzi e segnali di chip enable in modo analogo a quanto visto nel paragrafo 12.1 per la lettura della PROM 82S123 della scheda controller 4i.

Il file binario ottenuto dal programmatore dopo la lettura presentava dimensione di 2KB, capacità limite per una EPROM 2716. Anche in questo caso era presente ridondanza di informazione nel file, in quanto riportava al suo interno 4 volte il codice reale contenuto nella PROM MMI 6341-1J. In modo analogo a

quanto illustrato al paragrafo 12.2 si è utilizzato l'editor HxD per isolare i primi 512 byte del dump binario da 2KB, corrispondenti al contenuto della PROM che si voleva conservare.

14.2 RESTAURO DELL'HARDWARE

Il passo successivo è stata la verifica dell'alimentatore mediante ispezione della scheda che lo costituisce. Non erano presenti condensatori elettrolitici in perdita o cortocircuiti e i valori massimi di tensione degli stessi erano tali da essere sovradimensionati rispetto le tensioni reali presenti ai loro capi in condizione di normale operazione.

Non erano inoltre presenti condensatori a marca RIFA (classe X2), presenti negli Apple II originali.

Le armature di questi componenti erano realizzate con sottili pellicole di alluminio (aluminium foil capacitors) e immerse in un dielettrico. Le caratteristiche fisiche della classe X2 li rendevano tali da essere utilizzati per sopprimere i disturbi della rete elettrica.

Tuttavia, con il passare degli anni, queste caratteristiche vengono meno e il componente nel tempo perde di stabilità, dando origine a problematiche molto note. Questi componenti se collegati oggi alla rete elettrica tenderanno a formare una crepa sull'involucro in plastica e a rilasciare fumo e materiale dielettrico.

Per queste ragioni vanno sostituiti con condensatori X2 moderni al poliestere, di pari specifiche.

Per la prima accensione dell'alimentatore questo è stato isolato dalla scheda madre del computer e si sono verificate le tensioni in uscita con un multimetro digitale impostato come voltmetro (fondo scala 20VDC). Le tensioni +5V, +12V, -5V, -12V a vuoto erano tutte presenti e corrette. Si è quindi collegato l'alimentatore alla scheda madre del computer e si è potuto udire il beep di avvio dall'altoparlante.

Il clone Apple II presenta un'uscita videocomposita monocromatica, che può essere riportata in ingresso ad un monitor monocromatico a fosfori verdi quale ad esempio il monitor C.A.& G. che era abbinato al computer.

Per una questione di praticità, le prime prove di funzionamento del PC sono state effettuate collegandolo ad un moderno televisore dotato di ingresso AV.

Prima di collegare le due unità drive al clone Apple II è stata eseguita un'accurata pulizia delle testine di lettura e lubrificazione delle rotaie di spostamento

delle testine.

Inserite le schede di espansione nel calcolatore, collegati i drive e luscita video al televisore si è acceso il computer che ha avviato il drive A cercando il disco di boot.

Il floppy disk di boot conservato insieme alla macchina non è l'Apple II DOS 3.3 bensì un disco di utility *LockSmith*, il quale integra alcune utility del DOS 3.3 (stampa directory di un disco ecc.) e altre di manipolazione e copia di file presenti su floppy disk.

Era presente inoltre un secondo disco di boot, per l'avvio di CP/M-80 sul computer (v. fig. 14.3).

Questo per funzionare richiede un'apposita scheda su uno slot dell'Apple II,

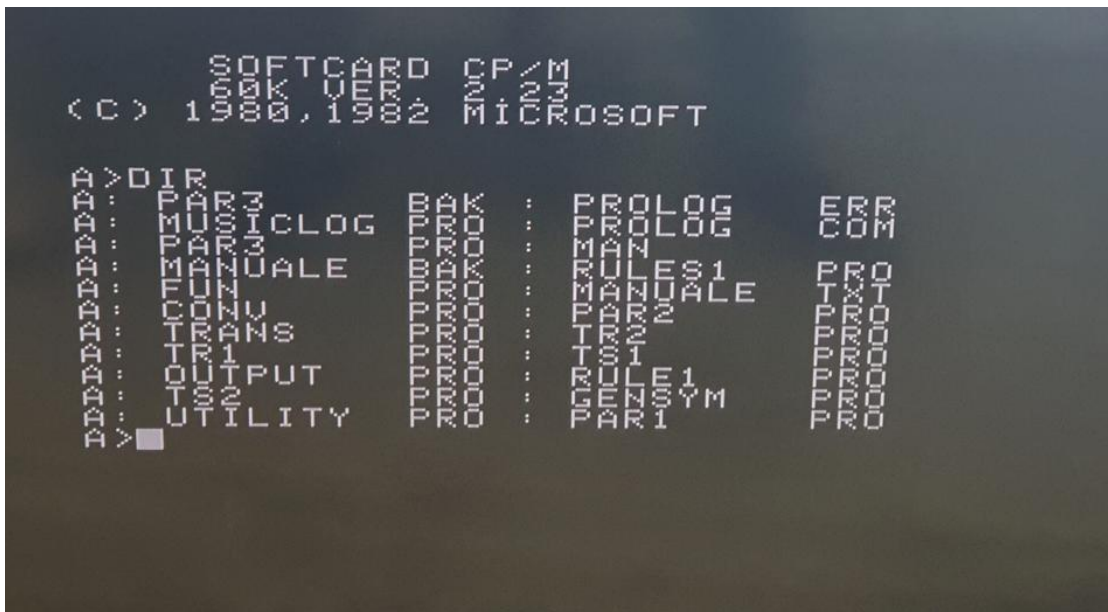


Figura 14.3: La schermata di boot di CP/M-80 sul clone Apple II

che contiene il processore Z80.

Parte di codice del floppy di boot è eseguita dal processore 6502 presente sulla scheda madre del computer, che comanda l'attivazione della scheda con lo Z80 (v. fig. 14.4) per farle eseguire il resto del codice necessario all'avvio del sistema operativo CP/M-80.

Un comando molto utile integrato nel CP/M-80 è il comando "DIR", che consente di esplorare la directory del disco.

Lanciando il comando è stato possibile esplorare il contenuto del disco di boot di CP/M-80, che contiene un interprete del linguaggio *PROLOG* con anche alcuni file sorgente di applicazioni per la computer music realizzate con tale linguaggio.

14.3 CREAZIONE DI FLOPPY DISK PER APPLE II

ASCII EXPRESS

Qualora si recuperasse un computer Apple II sprovvisto di software su disco, ad esempio senza sistema operativo DOS 3.3, esiste una procedura piuttosto semplice che consente la realizzazione di floppy disk che l'elaboratore potrà poi prontamente caricare all'accensione.

Gran parte del software realizzato per il computer Apple II, tra cui i sistemi operativi *DOS 3.3* e *CP/M-80*, applicazioni e giochi, è stato conservato a partire dai dischi floppy originali e messo a disposizione sul sito <https://asciexpress.net/>.

Ascii Express consente all'utente di creare i floppy disk di cui ha bisogno (purchè presenti tra i titoli disponibili nel sito) interfacciando il proprio Apple II ad un computer moderno mediante la porta registratore cassette 'EAR' dell'Apple II che andrà connessa con un jack audio da 3.5mm all'uscita audio del personal computer con la finestra di *Ascii Express* attiva.

Il PC creato da Jobs e Wozniak integra la possibilità di caricare e salvare programmi su audiocassette.

Ascii Express contiene tutte le informazioni costituenti il floppy disk di interesse in un unico file audio ad estensione WAV. L'utente dovrà solo comandare il caricamento della sequenza dati in formato audio all'Apple II, digitando 'LOAD' e premendo <RETURN>. Per una trasmissione esente da errori è opportuno che il volume di uscita dalla scheda audio del PC usato per l'operazione sia settato al massimo (es. 100/100).

A questo punto, una volta avviato il file audio dell'applicazione di interesse con il computer in ascolto, verrà caricato del codice nella RAM dell'Apple II, eseguito dopo pochi secondi.

Il tool in questione, denominato *INSTA-DISK*, consente la formattazione del floppy disk da scrivere, che deve essere inserito nell'unità 'DRIVE-1' prima di comandare il caricamento del file audio.

A formattazione completata, *INSTA-DISK* procederà alla scrittura del dischetto per blocchi di dati. Dopo la scrittura di un blocco, è necessario attendere il caricamento del blocco successivo.

A procedura terminata, spegnedo e riaccendendo il computer Apple II questo procederà a caricare il software appena realizzato mediante *Ascii Express*.

ADT-Pro

Un'alternativa ad *Ascii Express* è il software *ADT-Pro*. Anch'esso consente il trasferimento di immagini disco Apple II tramite la porta cassette, oppure tramite la porta seriale (in questo caso è necessario che sull'Apple II sia presente la *Super Serial Card* o altra scheda compatibile). Consiste in un host software scritto in Java che può essere lanciato da PC, consentendo all'utente diverse possibilità di bootstrap: via audio, via seriale, via modem.

Il primo compito del software host *ADT-Pro* è quello di caricare il sistema *Apple ProDOS* nella RAM del computer, per poi essere eseguito dall'utente con un opportuno comando.

Dall'host software di *ADT-Pro* su PC verrà quindi richiesto di digitare un ulteriore comando, per il caricamento effettivo del tool *ADT-Pro* nell'Apple II. A questo punto sarà possibile creare un floppy disk contenente il tool *ADT-Pro*, utile alla creazione di floppy disk illustrata in seguito.

Per creare un floppy disk a partire da un'immagine di disco sarà ora necessario avviare il computer Apple II con il floppy di *ADT-Pro* appena realizzato. Verrà chiesto di selezionare il tipo di bootstrap che si vuole effettuare (via audio, via seriale, via modem).

Successivamente, premendo (R)ECEIVE sull'Apple II, sarà possibile caricare l'immagine floppy presente sul computer host. La procedura di scrittura richiede tipicamente 15 minuti.

Si può pensare ad una analogia tra *ADT-Pro* ed *INSTA-DISK*. Un vantaggio di *ADT-Pro* è il suo funzionamento anche con altri retrocomputer Apple, quali, ad esempio, l'Apple III.

15

MSX Philips VG-8235

15.1 NOZIONI STORICHE SUGLI MSX

L'ultimo calcolatore restaurato durante il periodo di stage presso il CSC è il personal computer della famiglia MSX2, prodotto dalla Philips, modello VG-8235 (v. fig. 15.1).

Lo standard MSX (*Machines with Software eXchangeability*) venne sviluppato nel 1983 da Kazuhiko Nishi, con l'obiettivo di introdurre linee guida comuni allo sviluppo e costruzione dei personal computer.

Il progetto fu fortemente ispirato dai computer Spectravideo SVI-318 e SVI-328, con i quali le macchine MSX condividono molti componenti.

Ottenuti i diritti dalla SpectraVideo, che per altro supportò il progetto MSX realizzando il PC SVI-728, pienamente compatibile con MSX, Nishi iniziò a sviluppare lo standard.

MSX ebbe ampia diffusione in Giappone, ma arrivò anche in Europa, Sud America e nei Paesi Arabi, dove venne venduto con il marchio Al-Alamiah. Diverse aziende produssero i propri personal computer con hardware e software seguente lo standard, tra le quali possiamo citare Sony, Toshiba e Philips.

Il processore comune a queste macchine era lo Zilog Z80, progettato dall'italiano Federico Faggin, che nel 1971 realizzò il primo microprocessore monolitico della storia: l'*Intel 4004*.

Il firmware era contenuto in una ROM da 32KB che si suddivideva in 16KB di codice BIOS e 16KB contenenti un'interprete BASIC (MSX BASIC 1.0) disponi-

15.1. NOZIONI STORICHE SUGLI MSX



Figura 15.1: Il Philips VG-8235 del CSC

bile all'accensione della macchina.

La RAM disponibile variava da 16KB a 64KB ed era comunque possibile espanderla tramite opportune cartucce. Il processore video adottato era inizialmente il TMS9918, prodotto da Texas Instruments e il chip sonoro era il PSG (Programmable Sound Generator) AY-3-8910 di General Instruments, presente in molte schede arcade per la generazione di effetti sonori.

Nel 1986 lo standard ebbe un'evoluzione: nacque MSX2. Le principali differenze erano un firmware aggiornato, una maggiore capacità di memoria ad accesso casuale (un massimo di 256KB contro i 64KB di MSX1) e un nuovo chip video grafico, lo Yamaha V9938. Inoltre la RAM poteva essere espansa fino a un massimo di 4MB, su cartuccia, contro 1MB installabili invece su macchine MSX1.

I principali concorrenti di MSX furono le macchine IBM PC compatibili, ovvero personal computer basati sullo standard introdotto da IBM nel 1980 per il loro PC 5150.

Tuttavia venne realizzata in un numero limitato di esemplari una scheda ISA, installabile su un PC IBM compatibile, in grado di emulare a livello hardware una macchina MSX su di esso. Per avviare l'emulazione era comunque necessario lanciare un task MSX dalla macchina PC compatibile dove si era installata la

scheda, denominata PTC MSX PC.

SPECIFICHE TECNICHE DEL VG-8235

Il Philips VG-8235 fa parte della famiglia MSX2 e presenta le seguenti caratteristiche:

- CPU Zilog Z80 a 3,579MHz
- 64KB di firmware su ROM
- 256KB di RAM
- Testo 24 righe per 80 colonne massimo
- Grafica 256 x 192 a 16 colori
- Audio a 3 canali (8 ottave) + rumore bianco
- Floppy disk drive da 3.5 pollici (360KB) integrato
- Porta per registratore a cassette
- Porta stampante
- Uscita video RF (cavo antenna televisore)
- Uscita video SCART

15.2 RESTAURO DELL'MSX2 VG-8235

Il VG-8235 del Centro di Sonologia Computazionale di Padova è stato conservato nel suo imballo originale con cavi, manuale e software su floppy disk da 3.5 pollici in italiano. Il software incluso con la macchina è *MSX-DOS* e un disco con le utility *MSX Home Office* e *MSX Designer*.

La macchina è stata smontata per eseguire controlli sull'hardware prima di procedere all'accensione. Lo smontaggio della macchina è stato eseguito con particolare cura volta a non compromettere l'integrità dei ganci in plastica, che tengono unite le due scocche in diversi punti della carrozzeria del computer.

Internamente il computer era in condizioni impeccabili, fatta eccezione per la cinghia in gomma del floppy disk drive, la quale si era sciolta lasciando residui in gomma con il risultato di intaccare le parti meccaniche (v. fig. 15.2). Si è quindi proceduto alla rimozione dei residui e ad una accurata pulizia con alcool isopropilico, prima di sostituire la cinghia con un ricambio moderno. Questo

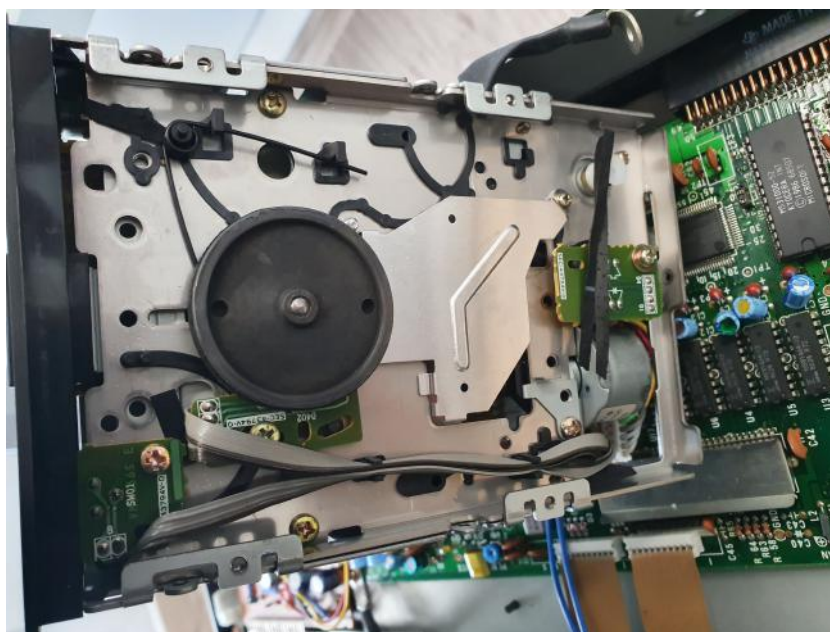


Figura 15.2: *La meccanica del floppy drive con la cinghia spezzata*

problema è comune a quasi tutte queste macchine e si manifesta anche in calcolatori più datati non solo nella sezione floppy: un esempio sono gli O-ring contenuti nelle *Olivetti Programma 101* per la trasmissione del moto al gruppo stampante, per l'avanzamento della cartolina magnetica (esemplari prima serie), e per l'azionamento della ventola di raffreddamento del gruppo logica.

Sostituita la cinghia nel VG-8235 si sono testate le tensioni dell'alimentatore scollegando il connettore di distribuzione dell'alimentazione alle varie componenti meccanico-logiche del PC. Per questa operazione si è utilizzato un multimetro digitale impostato come voltmetro con valore di fondo scala 20VDC.

Una volta verificata la correttezza e stabilità delle tensioni e revisionato il drive, si è eseguito il primo test di funzionamento, collegando il computer ad un televisore mediante cavo SCART.

Il computer si è avviato correttamente, caricando correttamente il disco *MSX-DOS*. Anche il disco con le utility ha funzionato correttamente.

DUMP DEI FLOPPY DISK

Questi, prima della prova con il PC, sono stati conservati con la tecnica del RAW dump, ovvero a livello di variazioni di flusso magnetico.

Per fare ciò si è utilizzata la scheda Greaseweazle V4 alla quale si è collegato un drive da 3.5 pollici.

Il pattern di variazioni di flusso letto per ciascun disco in formato SCP è stato poi convertito in un file immagine di disco in formato MSX.1DD grazie al tool "Convert" messo a disposizione dal software della Greaseweazle.

EMULAZIONE DELL'MSX2

Sono disponibili vari software che consentono di emulare fedelmente macchine MSX e MSX2; alcuni esempi sono: openMSX e blueMSX.

Queste applicazioni una volta lanciate consentono all'utente di operare direttamente sulla macchina emulata previo settaggio dello standard da emulare (MSX2 nel nostro caso) ed eventualmente l'attachment di una immagine di disco.

blueMSX in particolare è in grado di emulare anche delle unità di espansione video e audio, che erano diffuse su questi personal computer.

Si è voluto testare il dischetto MSX Home Office MSX Designer, caricandone sull'emulatore il file immagine ottenuto in precedenza. Le schermate ottenute da blueMSX sono visibili nella figura 15.3.



Figura 15.3: Le schermate di MSX Designer nell'emulatore

Gli stessi output video si sono ottenuti testando la macchina reale, caricando il programma dal disco da 3.5 pollici originale (v. fig. 15.4).

15.2. RESTAURO DELL'MSX2 VG-8235



Figura 15.4: MSX Designer funzionante sul computer fisico.

16

Conclusioni e Implementazioni Future

L'esperienza svolta dal laureando presso il Centro di Sonologia Computazionale di Padova gli ha consentito di approfondire la conoscenza del calcolatore PDP-11 e di adottare le strategie per la conservazione attiva dell'hardware e del software descritte nel presente documento, applicate al minicomputer sopraccitato e ad altri calcolatori presenti nella struttura del CSC.

In merito al lavoro svolto nel periodo di permanenza, il processo di conservazione ha portato al raggiungimento dei seguenti obiettivi prefissati:

- **Conservazione del software su floppy**

Questo lavoro è stato svolto adottando la tecnica di conservazione a basso livello del disco floppy. In questo modo si è ottenuta una copia digitale per ciascun dischetto fisico, riportante le informazioni a livello fisico (variazioni di flusso magnetico) insite nel supporto.

- **Conservazione del firmware**

Mediante l'utilizzo di un programmatore di EPROM e opportuni adattatori auto costruiti è stato possibile eseguire il dump a livello binario del codice contenuto in memorie di sola lettura.

- **Restauro dell'hardware**

Si è restaurato il calcolatore fisico con lo scopo di riattivare le parti elettroniche

e meccaniche, intervenendo dove le circostanze lo avessero richiesto anche con la sostituzione di componenti. Test gradualmente e mirati a singoli blocchi funzionali hanno reso più agevole la procedura di troubleshooting.

- Emulazione

Il passo conseguente alla conservazione in formato digitale di software e firmware su un PC host è stata l'emulazione del sistema fisico originale, virtualizzato su un PC moderno con lo scopo di riutilizzare l'elaboratore originale in modo più agevole e affidabile.

IMPLEMENTAZIONI FUTURE

L'emulazione del PDP-11/34 consente di avere una versione virtuale del sistema in grado di far girare il sistema operativo originale e caricare il software con gli applicativi o un disco dati a partire da un file immagine proveniente dalla digitalizzazione del supporto fisico.

Sebbene sia possibile lanciare il software specificatamente scritto per la scheda processore sonoro 4i, non si otterrà nessun risultato audio, in quanto l'emulatore non ha informazioni sull'hardware esterno costituito dall'insieme di schede che implementano la 4i.

Risulta quindi necessario creare una descrizione a livello logico dell'hardware della 4i in un apposito file, e associare tale file alla sessione dell'emulatore specificando quindi la presenza di hardware esterno.

Un punto di partenza per questa implementazione possono essere gli schemi elettrici originali, gli schemi a blocchi e il firmware prelevato dalle PROM della scheda controller.

Bibliografia

- [1] URL: <https://www.kryoflux.com/>.
- [2] URL: <https://github.com/keirf/greaseweazle>.
- [3] URL: <http://www.cowlark.com/fluxengine/index.html>.
- [4] Digital equipment corporation – Maynard Massachusetts. *M9312 bootstrap/terminator module technical manual*. 1978.
- [5] *256-bit TTL bipolar PROM (32 x 8)*. 82S23/82S123. Philips Semiconductors. Nov. 1986.
- [6] Federica Bressan e Sergio Canazza. «A Systemic Approach to the Preservation of Audio Documents: Methodology and Software Tools». In: (2013), p. 2.
- [7] R. H. Earle. *Morkrum System Of Printing Telegraphy*. 537.81 Ea 7. Armour Institute Of Technology. 1917.
- [8] Jerry Kane e Adam Osborne. *An Introduction To Microcomputers Volume 3 Some Real Support Devices*. Osborne Associates, Inc. Set. 1978, H4-3 - H4-11.
- [9] Michael H. McCabe. «Punched Paper Tape - Vaster than Empires and more slow». In: (gen. 2010).
- [10] *NMOS 16K (2K x 8) UV EPROM*. M2716. SGS-Thomson Microelectronics. Lug. 1994.
- [11] Alessandro Russo, Alessandro Liberalato e Sergio Canazza. «Reactivation/virtualization of the CSC system at the University of Padua». In: Article accepted for publication. 2023, pp. 1–3.

Riconoscimenti

Desidero ringraziare sentitamente il Centro di Sonologia Computazionale, in modo particolare il Professor Sergio Canazza e il Dottor Alessandro Fiordelmondo per l'opportunità di tirocinio che mi è stata presentata e per l'ospitalità presso la struttura.

Un ringraziamento speciale lo rivolgo all'amico Gabriele Banorri per avermi introdotto nel mondo del *retrocomputing* e avermi illustrato l'importanza della conservazione dei floppy disk, con nozioni sulle tecniche da adottare.

Allo stesso tempo ringrazio l'amico Luigi Serrantoni (www.computerhistory.it) per le informazioni e il confronto in merito alla storia del nastro perforato.

Ringrazio gli amici di Ivrea Sergio Perotti, Gastone Garziera e Giampietro Zanini per avermi fornito preziose e dettagliate informazioni sulle cartoline magnetiche, sul loro funzionamento, e consigli su come intervenire nel restauro delle Programma 101.

Ringrazio infine la mia famiglia e gli amici che mi hanno supportato in questo mio percorso di studi.