

XIII Prefazione

3 **Capitolo 1 Classificazioni e concetti base**

3 1.1 Sistemi - Un approccio gerarchico

4 1.2 Sistemi basati su componenti programmabili

1.2.1 Concetto di Sistema di Elaborazione, *p. 5* - 1.2.2 Architettura a livelli, *p. 5*

7 1.3 Dati e Controllo

1.3.1 Ingressi e uscite, *p. 7* - 1.3.2 Unità di Controllo e Unità Operativa, *p. 8*

8 1.4 Tassonomie e classificazioni dei Sistemi

1.4.1 Classificazione in base alla codifica dell'informazione, *p. 9* - 1.4.2 Classificazione in base al comportamento delle uscite rispetto agli ingressi, *p. 9* - 1.4.3 Classificazione in base al comportamento delle operazioni rispetto agli ingressi, *p. 10* - 1.4.4 Classificazione in base al modello architetturale, *p. 10* - 1.4.5 Classificazione in base alla funzione svolta dal singolo nodo di elaborazione, *p. 14* - 1.4.6 Classificazione in base alla Implementazione, *p. 14* - 1.4.7 Classificazione in base alla dimensione fisica e/o alla tipologia di mercato, *p. 17*

19 1.5 Formalismi e metodologie di rappresentazione

1.5.1 Livello Processing Element, *p. 22* - 1.5.2 Livello Trasferimento tra Registri, *p. 22* - 1.5.3 Livello Logico, *p. 25* - 1.5.4 Livello Dispositivo, *p. 26* - 1.5.5 Tabella riassuntiva, *p. 26* - 1.5.6 Ruolo della matrice delle rappresentazioni - Un esempio pratico, *p. 26*

30 1.6 Diversi punti di vista

35 **Capitolo 2 Livelli funzionali di un sistema**

35 2.1 Introduzione

36 2.2 Alcuni concetti fondamentali

2.2.1 Rappresentazione dell'informazione, *p. 36* - 2.2.2 Modelli di calcolo e di esecuzione, *p. 37*

- 40 2.3 Architettura di riferimento
 - 2.3.1 Architetture di tipo «von Neumann», p. 41 - 2.3.2 Architetture di tipo «Harvard», p. 41 - 2.3.3 Memoria, p. 42 - 2.3.4 Sistemi di I/O, p. 44 - 2.3.5 Sistemi di interconnessione, p. 45 - 2.3.6 Sistemi di memoria, p. 47
- 50 2.4 Principio base di funzionamento
 - 2.4.1 Svolgimento delle operazioni, p. 51 - 2.4.2 Interruzioni, p. 53 - 2.4.3 Modi operativi di un processore, p. 55 - 2.4.4 Contesto di elaborazione, p. 55
- 60 2.5 Ciclo di sviluppo di un programma
 - 2.5.1 Allocazione dei programmi nella memoria, p. 62
- 64 2.6 Il Sistema Operativo
 - 2.6.1 Modi di funzionamento, p. 64 - 2.6.2 Gestione dei processi, p. 65 - 2.6.3 Gestione della memoria, p. 66 - 2.6.4 Gestione della CPU, p. 67
- 67 2.7 Alcune soluzioni architetturali
 - 2.7.1 Architetture a registri generali, p. 67 - 2.7.2 Architetture «a stack», p. 68 - 2.7.3 Architetture «pipelined», p. 69 - 2.7.4 Architetture «RISC» e «CISC», p. 71

- 75 **Capitolo 3 Architettura interna del processore**
- 75 3.1 Le unità del processore
 - 3.1.1 Interazione con la memoria, p. 76
- 77 3.2 L'Unità Operativa
 - 3.2.1 I registri del processore, p. 77 - 3.2.2 Registri speciali, p. 78 - 3.2.3 L'Unità di Elaborazione, p. 79
- 82 3.3 L'Unità di Controllo
- 83 3.4 Principi di funzionamento dell'architettura interna di un processore
 - 3.4.1 Classificazione dei codici operativi, p. 83 - 3.4.2 Istruzioni e microfasi, p. 83
- 88 3.5 Principi di progettazione dell'Unità di Controllo

- 91 **Capitolo 4 Instruction Set Architecture**
- 91 4.1 Livello ISA e modello di programmazione di un processore
 - 4.1.1 Istruzioni macchina, p. 93 - 4.1.2 Ortogonalità e Quasi-ortogonalità, p. 94 - 4.1.3 Compatibilità del livello ISA, p. 94
- 95 4.2 Formato delle istruzioni
- 98 4.3 Modi di indirizzamento
 - 4.3.1 Modi di indirizzamento di base, p. 99 - 4.3.2 Esempi d'uso dei modi di indirizzamento di base, p. 102 - 4.3.3 Modi di indirizzamento con modifiche di indirizzo, p. 104
- 108 4.4 Codifica delle istruzioni
- 112 4.5 Famiglie di istruzioni in linguaggio macchina
 - 4.5.1 Istruzioni per il trasferimento dati, p. 114 - 4.5.2 Istruzioni aritmetiche e logiche, p. 114 - 4.5.3 Istruzioni per il controllo del flusso, p. 117 - 4.5.4 Istruzioni per la gestione dei sottoprogrammi, p. 118 - 4.5.5 Istruzioni di servizio per la gestione del processore e del sistema, p. 118 - 4.5.6 Istruzioni miscellanee, p. 119

121 **Capitolo 5 Programmazione di sistema**

- 122 5.1 Linguaggio assembler e strumenti di sviluppo
 - 5.1.1 Assemblatore, *p. 123* - 5.1.2 Macro Istruzioni, Pseudo Istruzioni e Compilazione Condizionata, *p. 130* - 5.1.3 Linker, *p. 133* - 5.1.4 Loader, *p. 134* - 5.1.5 Debugger, *p. 134*
- 135 5.2 Allocazione in memoria dei programmi
 - 5.2.1 Allocazione statica, *p. 135* - 5.2.2 Rilocazione statica, *p. 135* - 5.2.3 Rilocazione dinamica, *p. 136*
- 136 5.3 Programmazione in linguaggio Assembler
 - 5.3.1 Rappresentazione in assembler dei principali tipi di dati del linguaggio C, *p. 137* - 5.3.2 Implementazione in assembler dei principali costrutti della programmazione strutturata, *p. 141* - 5.3.3 Sottoprogrammi in assembler, *p. 147* - 5.3.4 Struttura di un programma assembler, *p. 152*
- 154 5.4 Esempi di programmi assembler
- 162 5.5 Gli ambienti di sviluppo integrati

167 **Capitolo 6 Sistemi di interconnessione, bus e protocolli**

- 167 6.1 Generalità sui sistemi di interconnessione
 - 6.1.1 Canale trasmissivo, *p. 169* - 6.1.2 Parametri caratteristici di un sistema di comunicazione, *p. 169*
- 169 6.2 Generalità sui bus
 - 6.2.1 Principio di funzionamento di un bus realizzato su schede, *p. 171*
- 172 6.3 Evoluzione dei sistemi di interconnessione
 - 6.3.1 Dai bus proprietari a quelli standard, *p. 172* - 6.3.2 Bus gerarchici, *p. 174* - 6.3.3 Reti di interconnessione, *p. 175* - 6.3.4 Bus implementati su singolo chip, *p. 175*
- 178 6.4 Protocolli di comunicazione
 - 6.4.1 Elementi che influenzano la scelta un protocollo, *p. 179* - 6.4.2 Organizzazione temporale di un protocollo, *p. 179* - 6.4.3 Concetto di master e relativi protocolli, *p. 180* - 6.4.4 Specifica di un protocollo, *p. 180* - 6.4.5 Protocolli sincroni e asincroni, *p. 181* - 6.4.6 Protocolli asincroni di «handshake», *p. 182*
- 189 6.5 Esempi di trasferimenti su bus
 - 6.5.1 Esempi di trasferimenti su bus fra processore e memoria, *p. 190*
- 194 6.6 Bus paralleli
 - 6.6.1 Bus asincrono Motorola VMEbus, *p. 195* - 6.6.2 Bus PCI, *p. 197* - 6.6.3 Bus AMBA, *p. 198*
- 200 6.7 Bus seriali
 - 6.7.1 SPI, *p. 200* - 6.7.2 I2C, *p. 202* - 6.7.3 FireWire, *p. 204* - 6.7.4 USB, *p. 205*
- 206 6.8 Protocolli di arbitraggio di una risorsa
 - 6.8.1 Protocollo daisy-chain, *p. 207* - 6.8.2 Protocollo polling, *p. 207* - 6.8.3 Protocollo handshake, *p. 208*
- 209 6.9 Modelli e proprietà delle reti di interconnessione

213 Capitolo 7 Sistema delle memorie

- 214 7.1 Gerarchia delle memorie
7.1.1 Principio di località, *p. 214* - 7.1.2 Sistemi gerarchici di memoria a due livelli, *p. 215* - 7.1.3 Prestazioni dei sistemi gerarchici di memoria, *p. 217*
- 218 7.2 Memorie Cache
7.2.1 Principio generale di funzionamento delle cache, *p. 219* - 7.2.2 Architettura interna di una cache, *p. 220* - 7.2.3 Politiche di sostituzione, *p. 223* - 7.2.4 Gestione dell'allineamento, *p. 224* - 7.2.5 Cache a più livelli, *p. 225* - 7.2.6 Cache in sistemi multi-core, *p. 226*
- 227 7.3 Memoria Virtuale
7.3.1 Principio generale di funzionamento, *p. 227* - 7.3.2 Cache e memoria virtuale, *p. 231*

235 Capitolo 8 Sistema delle interruzioni

- 235 8.1 Sistema delle interruzioni
- 236 8.2 Servizio delle interruzioni
8.2.1 Interruzioni edge-triggered, a livello e a messaggi, *p. 240*
- 242 8.3 Gestione delle interruzioni in processori commerciali
8.3.1 Interruzioni nei processori Motorola a 8 bit MC 6800 e a 32 bit MC 68000, *p. 242* - 8.3.2 Interruzioni nel processore Intel 8086, *p. 248* - 8.3.3 Interruzioni nel processore ARM, *p. 249* - 8.3.4 Interruzioni nei processori MIPS, *p. 252* - 8.3.5 Interruzioni nel processore SPARC, *p. 255*
- 257 8.4 Esempi di ISR in linguaggio assembler
- 261 8.5 Dispositivi per la gestione prioritaria delle interruzioni PIC
- 264 8.6 Gestione delle interruzioni in processori con pipeline

269 Capitolo 9 Sistema di I/O

- 269 9.1 Periferiche e gestione dell'I/O
9.1.1 Evoluzione storica, *p. 269* - 9.1.2 Caratterizzazione delle periferiche, *p. 270* - 9.1.3 Possibili ottimizzazioni, *p. 271*
- 272 9.2 Architettura interna di una interfaccia
9.2.1 Principio di funzionamento di un'interfaccia, *p. 273* - 9.2.2 Connessione interfaccia-periferica, *p. 274* - 9.2.3 Architettura di una periferica, *p. 274*
- 274 9.3 Modello dell'architettura del sistema di I/O e driver
9.3.1 Modalità di gestione di un driver tramite il meccanismo delle interruzioni, *p. 277*
- 278 9.4 Gestione di una interfaccia da parte del processore
- 279 9.5 Periferiche per la trasmissione dati
9.5.1 Dispositivi per la trasmissione parallela, *p. 281* - 9.5.2 Dispositivi per la trasmissione seriale, *p. 283*
- 291 9.6 Dispositivo timer programmabile
- 292 9.7 Interfacce attive e dispositivi DMA per l'accesso diretto alla memoria
- 296 9.8 Moduli e processori di I/O

299 *Appendici*

301 *Appendice A* **Codifica e trasmissione dei segnali**

301 A.1 Informazioni e Segnali

A.1.1 Rappresentazione in logica positiva o negativa, *p. 302* - A.1.2 Segnali 0-attivi e 1-attivi, *p. 302* - A.1.3 Concetto di *cella bit*, *p. 302* - A.1.4 Canali trasmissivi, *p. 302* - A.1.5 Codifiche di linea, *p. 304*

308 A.2 Trasmissione seriale e parallela

A.2.1 Modulazione di un segnale, *p. 309*

313 *Appendice B* **Modellazione dei circuiti digitali**

313 B.1 Circuiti Combinatori e Sequenziali

B.1.1 Il modello di Huffman, *p. 313*

314 B.2 Circuiti sincroni e asincroni

B.2.1 Segnali di temporizzazione, *p. 315* - B.2.2 Modello di FSM orientata alla “riusabilità”, *p. 316* - B.2.3 Unità Operativa e Unità di Controllo all’interno delle FSM, *p. 316*

319 *Appendice C* **Evoluzione tecnologica**

319 C.1 La legge di Moore

320 C.2 Trend tecnologici

C.2.1 System-on-Chip (SoC) e IP-core, *p. 321* - C.2.2 Microcontrollori e Arduino, *p. 323* - C.2.3 System-in-package (SiP) e 3-D packaging, *p. 324*

325 C.3 FPGA e dispositivi logici programmabili

C.3.1 Architettura interna di una FPGA, *p. 325*

331 *Appendice D* **Componenti funzionali a livello RT**

331 D.1 Introduzione

332 D.2 Componenti combinatori

D.2.1 Multiplexer, *p. 332* - D.2.2 Demultiplexer, *p. 332* - D.2.3 Codificatori a priorità, *p. 334* - D.2.4 Decodificatori, *p. 334* - D.2.5 Componenti aritmetici, *p. 335*

337 D.3 Componenti sequenziali

D.3.1 Segnali comuni, *p. 337* - D.3.2 Flip-Flop e latch, *p. 338* - D.3.3 Registri, *p. 339* - D.3.4 Contatori, *p. 339* - D.3.5 Registri a scorrimento (Shift Register), *p. 340* - D.3.6 Registri a scorrimento seriali, *p. 342* - D.3.7 Barrel Shifter, *p. 342* - D.3.8 Memorie RAM, *p. 342*

347 *Appendice E* **Dispositivi di memoria**

347 E.1 Parametri caratteristici delle memorie

- 347 E.2 Tassonomia delle memorie
- 348 E.3 Architettura esterna vs. Organizzazione interna
- 349 E.4 Memorie volatili
 - E.4.1 Memorie sincrone, *p. 349* - E.4.2 Memorie asincrone, *p. 350* - E.4.3 Memorie DRAM, *p. 351* - E.4.4 Memorie SRAM, *p. 356*
- 357 E.5 Memorie non volatili
 - E.5.1 Memorie ROM, *p. 357* - E.5.2 Memorie Flash, *p. 358* - E.5.3 Memorie Universali, *p. 360*
- 361 E.6 Memorie accessibili per contenuto
 - E.6.1 TCAM, *p. 362*
- 362 E.7 Memorie accessibili per ordine di scrittura
- 363 E.8 Temi comuni
 - E.8.1 Reset delle memorie, *p. 363* - E.8.2 Memorie con correzione di errori, *p. 363* - E.8.3 Mercato mondiale delle memorie, *p. 365* - E.8.4 Standard internazionali per le memorie, *p. 365*
- 366 E.9 Tabella comparativa

- 369 **Appendice F Memorie di massa**
- 369 F.1 Introduzione
- 369 F.2 Dischi magnetici
 - F.2.1 Concetti generali, *p. 369* - F.2.2 Organizzazione dei dati, *p. 371* - F.2.3 Tempo di accesso, *p. 372* - F.2.4 Velocità di trasferimento, *p. 372* - F.2.5 Collegamento tra i dischi e il computer, *p. 372*
- 375 F.3 Dischi ottici
 - F.3.1 La memorizzazione ottica, *p. 375* - F.3.2 CD-ROM, *p. 375* - F.3.3 DVD, *p. 376* - F.3.4 BLU-RAY, *p. 376*
- 376 F.4 Dischi a stato solido - SSD
- 377 F.5 Nastri magnetici
- 378 F.6 Architetture RAID
- 380 F.7 Memorie per sistemi distribuiti

- 383 **Appendice G1 ISA del processore ARM**
- 383 G1.1 Architettura del processore ARM
- 384 G1.2 L'architettura del processore e la sua evoluzione
 - G1.2.1 ARM7, *p. 384* - G1.2.2 ARM9, *p. 384* - G1.2.3 ARM11, *p. 386* - G1.2.4 ARM e soc, *p. 386*
- 386 G1.3 Architettura e modello di programmazione
- 387 G1.4 Set di istruzioni
 - G1.4.1 Istruzioni di salto, *p. 387* - G1.4.2 Istruzioni di load e store, *p. 388* - G1.4.3 Istruzioni di elaborazione dei dati, *p. 389*
- 390 G1.5 Modi di indirizzamento

G1.5.1 Modi di indirizzamento nelle istruzioni di elaborazione dati, *p. 390* - G1.5.2 Modi di indirizzamento nelle istruzioni di Load e di Store, *p. 391*

393 *Appendice G2* **ISA del processore Motorola MC68000**

393 G2.1 Architettura del processore MC68000

G2.1.1 Evoluzione della famiglia, *p. 393* - G2.1.2 Architettura, *p. 394* - G2.1.3 I registri, *p. 394*

395 G2.2 Le istruzioni

G2.2.1 I modi di indirizzamento, *p. 396* - G2.2.2 Istruzioni di trasferimento dati, *p. 396* - G2.2.3 Move e Load verso registri di indirizzamento e registri speciali, *p. 397* - G2.2.4 Operazioni sullo stack, *p. 397* - G2.2.5 Istruzioni aritmetiche e logiche, *p. 397* - G2.2.6 Istruzioni di salto, *p. 399*

403 *Appendice G3* **ISA del processore MIPS**

403 G3.1 Architettura del processore MIPS

G3.1.1 Evoluzione della famiglia, *p. 403* - G3.1.2 I registri, *p. 403*

404 G3.2 Istruzioni

G3.2.1 Istruzioni di tipo R, *p. 405* - G3.2.2 Istruzioni di tipo I, *p. 405* - G3.2.3 Istruzioni di tipo J, *p. 406* - G3.2.4 Istruzioni per la manipolazione di costanti grandi, *p. 406* - G3.2.5 System call, *p. 407*

407 G3.3 I modi di indirizzamento

408 G3.4 Operazioni di chiamata a procedura e gestione dello stack

409 *Appendice H* **Cenni storici**

409 H.1 L'evoluzione dei sistemi di calcolo

H.1.1 Gli albori, *p. 409* - H.1.2 I precursori, *p. 410* - H.1.3 Gli aspetti teorici, *p. 410* - H.1.4 I primi calcolatori, *p. 411* - H.1.5 Le iniziative in Italia, *p. 412* - H.1.6 I minicalcolatori, *p. 413* - H.1.7 I microprocessori e i personal computer, *p. 414* - H.1.8 Il software, *p. 414* - H.1.9 Il calcolo parallelo, *p. 414*

417 *Indice analitico*