

Componenti ed Architetture di Elaborazione

Alessandro Farinelli

Dipartimento di Informatica e Sistemistica
Università di Roma "La Sapienza"

Cosa è un Elaboratore

Blocchi Funzionali

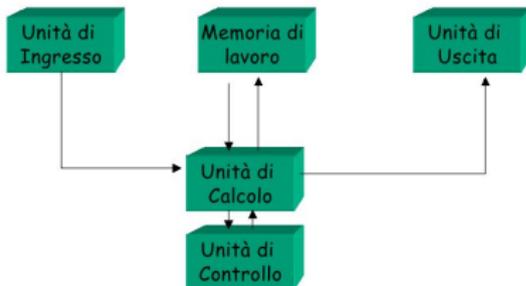


Immagine tratta da www.dis.uniroma1.it/~ciciani/DIDATTICA/CALCOLATORI-I/info.html

Blocchi Funzionali Elaboratore Elettronico

- Unità di controllo: coordina flusso dati
- Unità di calcolo: esegue operazioni sui dati
- Memoria: immagazina i dati
- Interconnessioni: bus
- Dati: segnali elettrici, codifica binaria

Componenti ed Architetture di Elaborazione

Alessandro Farinelli

C.1.1 Componenti e Architetture di Elaborazione

Componenti Hardware

C.1.2 Architettura di un Calcolatore

C.1.3 Componenti di Elaborazione multimediale

Cosa è un Elaboratore

Blocchi Funzionali

Componenti ed Architetture di Elaborazione

Alessandro Farinelli

C.1.1 Componenti e Architetture di Elaborazione

Componenti Hardware

C.1.2 Architettura di un Calcolatore

C.1.3 Componenti di Elaborazione multimediale

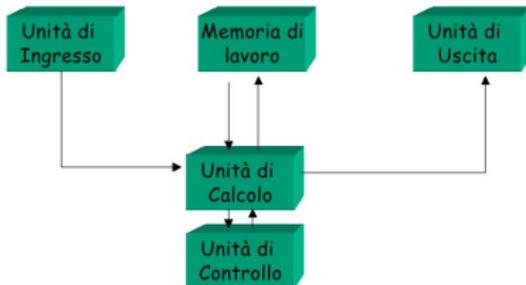


Immagine tratta da www.dis.uniroma1.it/~ciciani/DIDATTICA/CALCOLATORI-I/info.html

Blocchi Funzionali Elaboratore Elettronico

- Unità di controllo: coordina flusso dati
- Unità di calcolo: esegue operazioni sui dati
- Memoria: immagazina i dati
- Interconnessioni: bus
- Dati: segnali elettrici, codifica binaria

Scheda Madre

Componenti ed Architetture di Elaborazione

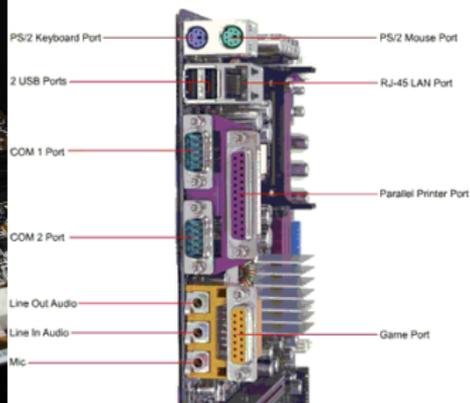
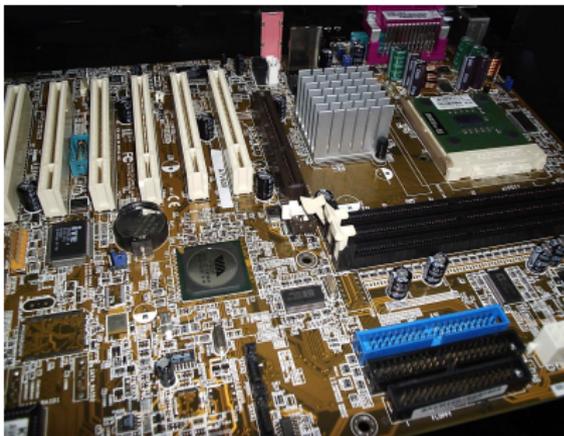
Alessandro Farinelli

C.1.1 Componenti e Architetture di Elaborazione

Componenti Hardware

C.1.2 Architettura di un Calcolatore

C.1.3 Componenti di Elaborazione multimediale



Componenti scheda madre

- CPU (Central Processing Unit)
- Sistema Controllo
- ROM (Read Only Memory)
- Slot per espansioni (Random Access Memory e altro)

CPU

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale



Caratteristiche CPU

- Set Istruzioni
- Memoria Cache: Registri
- Arithmetic Logic Unit ALU
- Unità di controllo

CPU

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale



Caratteristiche CPU

- Set Istruzioni
 - Complex Instruction Set Computer CISC
 - Reduced Instruction Set Computer RISC
- Memoria Cache: Registri
- Arithmetic Logic Unit ALU
- Unità di controllo

Funzionamento della CPU

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Fasi del Ciclo macchina della CPU

- Fetch: caricamento della istruzione che si deve eseguire dalla RAM.
- Decode: decodifica dell'istruzione.
- Execute: esecuzione dell'istruzione.

Il concetto di Pipeline

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Parallellizzare le operazioni

- Le varie fasi del ciclo macchina impegnano diversi **stadi** della CPU
- Mentre un'istruzione viene decodificata l'istruzione seguente viene caricata dalla memoria.
- Non può essere fatto per tutte le istruzioni \Rightarrow esistono procedure apposite per diverse istruzioni
- Come la pipeline viene realizzata dipende dall'architettura del processore.
- L'utilizzo della pipeline aumenta il throughput¹ dell'elaboratore.

¹Numero di istruzioni eseguite nell'unità di tempo

Memorie

Componenti
ed Architetture di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Operazioni principali

- Accesso
- Lettura
- Scrittura

Caratteristiche Memorie

- Sequenziali (Dischi, Nastri, etc.)
- Casuali (RAM)
- Sola lettura (ROM)
- Stabilità temporale

Caratteristiche Memorie

- Velocità, tempo per leggere o scrivere un dato
- Capacità, misurata in multipli di byte (Kilo, Mega, Giga Byte).
- Costo, per bit/byte della memoria.

ROM

Componenti ed Architetture di Elaborazione

Alessandro Farinelli

C.1.1 Componenti e Architetture di Elaborazione

Componenti Hardware

C.1.2 Architettura di un Calcolatore

C.1.3 Componenti di Elaborazione multimediale



Read Only Memory

- Memoria non volatile
- Dati scritti una sola
- PROM (Programmable ROM) ed EEPROM (Electrically Erasable PROM) consentono un numero limitato di scritture.

RAM

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale



Random Access Memory

- Memoria Volatile, organizzata in parole (in genere 4 Byte)
- Utilizzata per immagazzinare dati dinamici
- Brevi tempi di lettura/scrittura
- Static RAM: più veloce, alto costo
- Dynamic RAM: più lenta, basso costo, necessita hw dedicato per aggiornare dati in memoria
- Packaging Single Inline Memory Module (SIMM), Double Inline Memory Module DIMM

Strutture di interconnessione

- composti da connettori e mezzi trasmissivi
- Struttura condivisa da più dispositivi
- Un bus può veicolare: Indirizzi, Dati, Segnali di controllo.
- Un bus può essere **sincrono** o **asincrono**
- Gerarchie di BUS
- I bus sono interconnessi tramite device dedicati.

Stutture di interconnessione

- composti da connettori e mezzi trasmissivi
- Struttura condivisa da più dispositivi
- Un bus può veicolare: Indirizzi, Dati, Segnali di controllo.
- Un bus può essere **sincrono** o **asincrono**
- Gerarchie di BUS
 - BUS per la memoria (PCI) e dispositivi di particolare rilevanza (Accelerated Graphic Port) molto performanti
 - BUS con periferiche a basse prestazioni (USB, FireWire, IDE/ATA)
- I bus sono interconnessi tramite device dedicati.

Stutture di interconnessione

- composti da connettori e mezzi trasmissivi
- Struttura condivisa da più dispositivi
- Un bus può veicolare: Indirizzi, Dati, Segnali di controllo.
- Un bus può essere **sincrono** o **asincrono**
- Gerarchie di BUS
- I bus sono interconnessi tramite device dedicati.
 - SouthBridge \Rightarrow collega bus ad alte prestazioni con gli altri BUS
 - NorthBridge \Rightarrow collega CPU e RAM al PCI (controllore del sistema)

Valutazione di un Elaboratore

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Parametri di Valutazione di un Elaboratore

- Parallelismo processore: dimensione in bit dei registri interni (8, 16, 32, 64).
- Parallelismo memoria: dimensione di ciascun blocco (parola) di memoria
- Parallelismo dei BUS
- Frequenza di clock del processore: frequenza del segnale di temporizzazione
- Durata ciclo macchina: ciclo fetch-decode-execute.
- Numero di operazioni al secondo: MegaFLOPS
FLoating point Operations Per Second
- Benchmarks: sequenze di operazioni prefissate, si misura tempo di esecuzione

Componenti necessari alla comunicazione CPU-periferiche

- Interfaccia per inviare e ricevere segnali
- Un mezzo fisico di collegamento (BUS)
- Un protocollo per scambiare i dati

Interfacciamento CPU-Periferica

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Componenti Interfaccia

- Registro Controllo: memorizza comandi dal processore alla periferica
- Registro Stato: memorizza segnali di stato dalla periferica al processore.
- Registro Dati: memorizza i dati scambiati con la periferica.
- Driver: programma che gestisce la trasmissione dati, usa tali registri

Controller

- Componente dedicato al controllo della periferica.
- Traduce i segnali del BUS in segnali elettrici per la periferica.
- Connessione fisica tramite connettori (dipendono dal controller e dall'interfaccia)

Insieme *condiviso* di regole per la *temporizzazione* dello scambio dati.

Implementazione

- Specificato dalla temporizzazione dei segnali di controllo.
- Processore utilizza il registro di controllo ed il registro di stato.

Esempio Protocollo: handshaking lettura

Componenti ed Architetture di Elaborazione

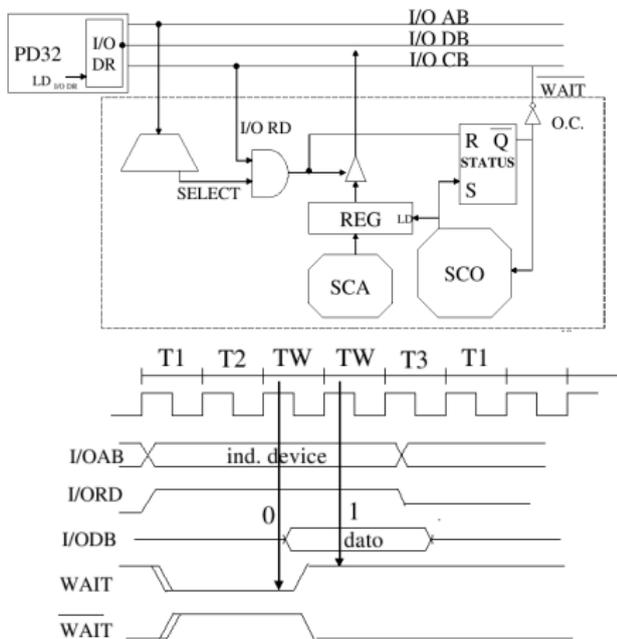
Alessandro Farinelli

C.1.1 Componenti e Architetture di Elaborazione

Componenti Hardware

C.1.2 Architettura di un Calcolatore

C.1.3 Componenti di Elaborazione multimediale



Immagini tratte da www.dis.uniroma1.it/~ciciani/DIDATTICA/CALCOLATORI-II/info.html

Meccanismi di comunicazione

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Temporizzazione

- Sincrona: i due sistemi hanno uno stesso clock che scandisce la comunicazione.
- Asincrona: clock diversi, messaggi di gestione dello scambio.

Tipologie di BUS

- PCI bus sincrono.
- Il bus PCI è il bus di sistema
- Altri BUS per le periferiche (USB, firewire, etc. etc.)

Modalità di gestione della periferica

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Polling

Interruzione

Modalità di gestione della periferica

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Polling

- Il processore interroga la periferica sulla possibilità di scambiare dati.
- Conveniente con periferiche che hanno frequenti scambi.

Interruzione

Modalità di gestione della periferica

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Polling

Interruzione

- La periferica "Interrompe" il processore quando deve scambiare dati.
- L'interruzione viene comunicata scrivendo in un registro.
- Esistono routine apposite per gestire l'interruzione. (Interrupt Service Routine).
- Conveniente per periferiche lente e che scambiano dati non di frequente.

Modalità di scambio dati

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

I/O bufferizzato

- I dati da trasferire vengono memorizzati in appositi buffer
- Può essere fatto sia in input che in output
- Riduce l'overhead di gestione del protocollo di scambio ed i conflitti sui BUS.

Direct Memory Access

- Area di memoria riservata per la periferica.
- CPU scrive in memoria e delega al DMA controller lo scambio dati.
- Il DMA controller è un processore dedicato allo scambio dati con la periferica.

Parametri generici periferiche

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Problematiche e caratteristiche delle periferiche

- Requisiti per lo scambio dati
- Tipologia di connessione
- Compatibilità con il sistema operativo
- Modalità di scambio dati
- Parametri specifici della periferica

Principali Periferiche di Ingresso

- **Tastiera**
 - Caratteristiche: layout (QWERTY), numero tasti
 - Collegamento: cavo (PS/2, USB)
- **Mouse**
 - Caratteristiche: "Pallina" + 2 encoder, Ottici
 - Collegamento: cavo (PS/2, USB), radio.
- **Joystick (non solo ingresso...)**

Periferiche Uscita

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Monitor

Dispositivi di Stampa

Monitor

- Cathode Tube Ray
- Schermo diviso in Pixels, Ciascun Pixels 3 colori (RGB)
- Caratteristiche: Frequenza refresh, risoluzione (Dots Per Inch), Lunghezza diagonale (pollici)

- Thin Film Transitor (Schermo Piatto)
- Ogni pixel \Rightarrow dispositivo elettronico dedicato.
- Qualità immagine migliore, angolo di visuale ridotto.
- Caratteristiche: Tempo di reazione

Collegamento: cavo Video Graphic Array alla scheda video.

Dispositivi di Stampa

Periferiche Uscita

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Monitor

Dispositivi di Stampa

- **Aghi**
 - Nastro tra carta ed aghi, aghi premono sul Nastro
- **Getto di Inchiostro**
 - Testine che rilasciano gocce di inchiostro
- **Laser (oggi utilizzate anche come Plotter)**
 - Toner: caricato elettricamente, scaricato selettivamente dal Laser, ricoperto polvere di Inchiostro elettrizzato.
 - Immagine fissata tramite calore (Xerigrafia)
- **Collegamento: porta parallela, USB, ethernet.**
- **Caratteristiche: DPI, colori, vel stampa (pag./min), form. carta.**

Tipologie di Connessione

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli



C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

- **Porta Seriale**
 - Connessione tramite unico filo
 - Dati serializzati
 - Tastiere, Mouse, Modem.
- **Porta Parallela**
 - Connessione Parallela
 - Stampante.
- **PCI Periperal Component Interconnect**
 - Standard generico.
 - Autoconfigurazione periferiche.

Tipologie di Connessione... continua

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

- IrDA InfraRed Data Association
 - PDA, Palmari.
 - instabile, distanza ridotta.
- Blue Tooth (wireless a 2.4 Ghz)
 - Distanze più ampie
 - Trasferimenti a 2.1 Mbit/sec.
- USB (Universal Serial Bus)
 - trasferimenti molto veloci (2.0 480 Mbit/sec).
 - hot swapping (interconnessione senza riavvio).
 - dispositivi alimentati tramite la porta.
 - una porta USB può gestire molti dispositivi (Hub)
- FireWire
 - Simile USB (hot swapping, gestione multi-dispositivo)
 - Circa 740 Mbit/sec

Connessione alla Rete

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale



Dispositivi di Connessione

- Modem: interno (bus), esterno (seriale), ethernet (ADSL)
- PCCards: PCMCIA Personal Computer Memory Card Int. Ass.
- Scheda di Rete: PCI

Gerarchie di linguaggio

Componenti ed Architetture di Elaborazione

Alessandro Farinelli

C.1.1 Componenti e Architetture di Elaborazione

Componenti Hardware

C.1.2 Architettura di un Calcolatore

C.1.3 Componenti di Elaborazione multimediale

Dal linguaggio ad alto livello al linguaggio macchina

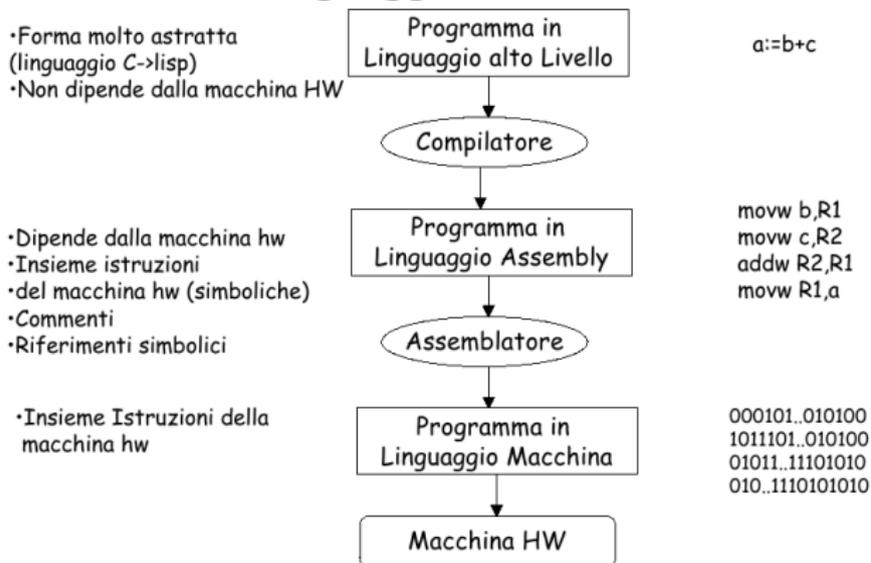


Immagine tratta da www.dis.uniroma1.it/~ciciani/DIDATTICA/CALCOLATORI-I/info.html

Linguaggio Assembler

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Caratteristiche Linguaggio

- Istruzione Assembler \Rightarrow Istruzione processore
- Indirizzi di memoria mnemonici
- Dipende dal processore

Formato Istruzioni

Etichetta Istruzione Operandi Commenti

M MOVE R0,R1 ;sposta R0 in R1

- Etichetta: rappresenta l'indirizzo simbolico dell'istruzione o del dato
- Istruzione: codice per l'istruzione da eseguire
- Operandi: registri o locazioni di memoria
- Commenti: commenti del programmatore

Operazioni di salto

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Salto incondizionato

Istruzione **JMP ETICHETTA**

- Permette di saltare all'istruzione contenuta in ETICHETTA
- Carica ETICHETTA nell PC
- Equivalente a **goto**

Salto codizionato

Salta se si verifica una condizione

- Le condizioni si riferiscono in genere alle SR
- Particolare bit dello SR indicano eventi di interesse
 - flag Overflow
 - flag di Zero
- Permette di eseguire l'istruzione **if**

Puntatore allo Stack (Stack Pointer)

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

- Permette di gestire pile di dati
- Utilizzato per gestire sotto-routine (i.e. routine per le interruzioni)

Gestione sub-routine

- Lo stato del processore viene salvato.
- PUSH dei registri di interesse.
- PC viene sempre salvato nell SP.
- Al termine della routine si fanno dei POP dallo SP per ripristinare lo stato.

Sistemi multiprocessore

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Caratteristiche

- Più processori sulla stessa scheda madre
- I processori sono identici e alla stessa frequenza di clock
- Migliorano le performance della macchina (throughput)
- Il miglioramento non è lineare nel numero dei processori

Sistemi multimediali

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Sistemi che permettono di presentare diversi tipi di informazione (testo, immagini, musica, etc. ect.)

Esempi

- PC + casse + CDRom
- Televisione

Interattività

- Flusso di informazioni bidirezionale
- Es. televideo
- presentazione pagina (sistema televideo)
- scelta pagina (utente)

Sistemi Multimediali: problematiche

Componenti
ed Architetture di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Grandi quantità di dati da elaborare

- Molta memoria
 - RAM
 - Memoria di massa
- Processamento dati molto veloce
- Flusso di dati \Rightarrow Ampia banda passante

Soluzioni

- Hw più performante
- Compressione dati
- Sistemi di immagazzinamento dati innovativi

Standard di compressione/rappresentazione dati

Componenti ed Architetture di Elaborazione

Alessandro Farinelli

C.1.1 Componenti e Architetture di Elaborazione

Componenti Hardware

C.1.2 Architettura di un Calcolatore

C.1.3 Componenti di Elaborazione multimediale

- Immagini: JPG, TIFF, GIF, BMP
- Audio
- Video

Standard di compressione/rappresentazione dati

Componenti ed Architetture di Elaborazione

Alessandro Farinelli

C.1.1 Componenti e Architetture di Elaborazione

Componenti Hardware

C.1.2 Architettura di un Calcolatore

C.1.3 Componenti di Elaborazione multimediale

- Immagini: JPG, TIFF, GIF, BMP
 - BMP nessuna compressione
 - Joint Photographic Experts Group, comprime immagini
- Audio
- Video

Standard di compressione/rappresentazione dati

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

- Immagini: JPG, TIFF, GIF, BMP
- Audio
 - WAV nessuna compressione, suono campionato (44 MHz) e quantizzato (8, 16, 24 bit)
 - MP3 compresso, elimina determinate frequenze, compressione molto elevata.
- Video

Standard di compressione/rappresentazione dati

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

- Immagini: JPG, TIFF, GIF, BMP
- Audio
- Video
 - MPEG, AVI, QuickTime
 - Problemi di copyright (dati crittografati)

Salvataggio dati

Componenti
ed Architetture
di
Elaborazione

Alessandro
Farinelli

C.1.1
Componenti e
Architetture di
Elaborazione

Componenti
Hardware

C.1.2 Architettura di
un Calcolatore

C.1.3 Componenti di
Elaborazione
multimediale

Supporti utilizzati

- Magnetici: Floppy Disk, Hard Disk
- Ottici: CD, DVD
- Stato solido: flash card, USB pen

Supporti utilizzati

- Magnetici: Floppy Disk, Hard Disk
 - Lettura e scrittura tramite **testina**
 - Nastri ⇒ tracce, Dischi ⇒ settori
 - FD 1,44 MB, accesso lento
 - HD decine di GB, accesso molto veloce (microsecondi)
- Ottici: CD, DVD
- Stato solido: flash card, USB pen

Supporti utilizzati

- **Magnetici: Floppy Disk, Hard Disk**
- **Ottici: CD, DVD**
 - Policarbonato rivestito in plastica, informazione data da depressioni del policarbonato (pit/land).
 - In genere non sono riscrivibili, se riscrivibili scritture limitate
 - CD 800 MB, DVD-single layer 4.7-8.5 GB, DVD-double layer 9.4-17 GB
 - Accesso più lento di HD, minor velocità rotazione e maggior peso dispositivo ottico lettura
- **Stato solido: flash card, USB pen**

Supporti utilizzati

- Magnetici: Floppy Disk, Hard Disk
- Ottici: CD, DVD
- Stato solido: flash card, USB pen
 - Simili a ROM programmabili.
 - Al massimo 1 GB
 - Tempo di lettura buono tempo di scrittura abbastanza elevato
 - Dispositivi molto piccoli, comodità d'uso (lettori MP3)