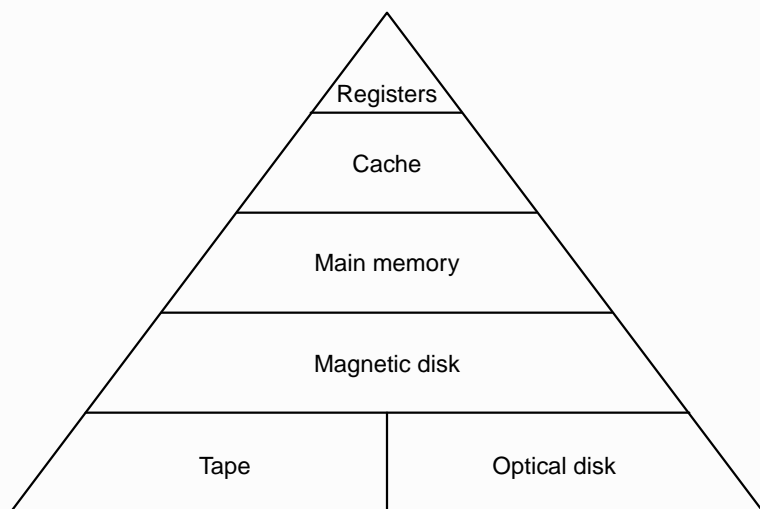


## Gerarchia di memoria



(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

1 / 48

## Gerarchia di memoria

Un calcolatore contiene vari tipi di memoria.

Differenze: **velocità** – **prezzo**, **dimensione**

- Registri:  $< 1$  nanosecondo (ns) -  $\sim 1$ KB
- Memoria cache:  $\sim [1-50]$  ns -  $\sim [10 - 1.000]$ KB
- Memoria centrale:  $\sim 100$  ns -  $\sim 1$ GB
- Dischi stato solido:  $\sim - 100.000$  ns -  $\sim 100$  GB
- Disco:  $\sim 10.000.000$  ns -  $\sim 1$ TB

Seconda differenza:

**volatile** – **permanente**.

(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

2 / 48

## Diverse tecnologie per memorie

- Non esiste una tecnologia migliore,
- Diverse tipi di memoria per diversi obiettivi: tempo di accesso – dimensioni.
- Obiettivo: una memoria capiente con **tempi medi** di accesso ridotti.

(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

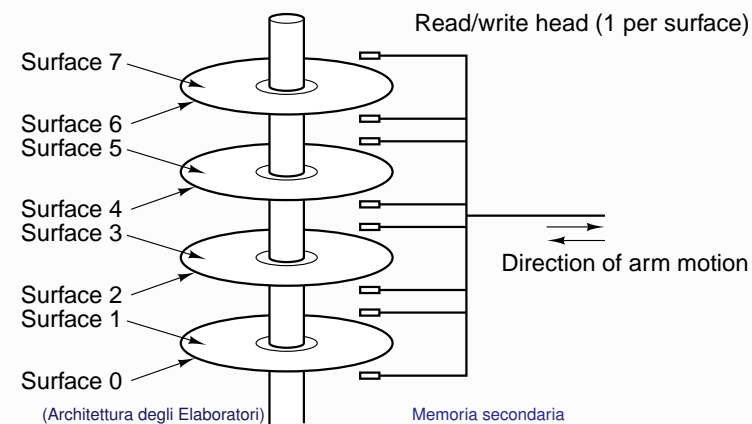
3 / 48

## Dischi magnetici

**Piatti** di alluminio (o vetro) con rivestimento magnetizzabile

diametro: 50 cm (vecchi) - 9, 6 cm.

**testina** con induttore

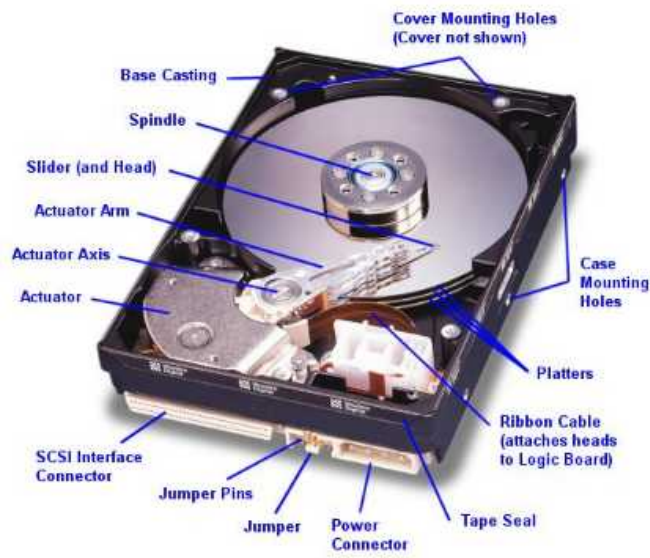


(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

4 / 48

## Dischi magnetici



(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

5 / 48

## Principi fisici

I materiali ferro-magnetici hanno **memoria**: se esposti ad un campo magnetico lo conservano.

- **scrittura** corrente crea un campo magnetico - modifica magnetizzazione
- **lettura** campo magnetico induce una corrente in **alternativa**: **magneto-resistenza** (resistenza il cui valore dipende dal campo magnetico)

(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

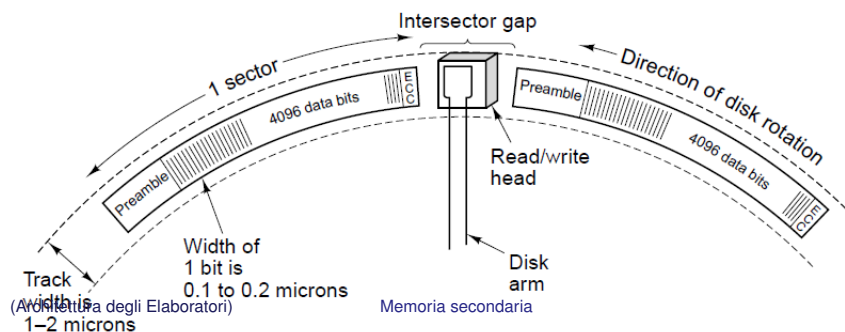
6 / 48

## Distribuzione dei dati

Disco diviso in:

**tracce** (track) anelli concentrici; testina ferma durante l'accesso ai dati

**settori** (sectors) parte di traccia, pacchetto di dati: preamble – 512 byte – ECC (Hamming, Reed-Solomon, corregge errori multipli)



Memoria secondaria

7 / 48

## Altri aspetti

- dimensione delle tracce,  $\sim 10.000$  tracce per centimetro,  $\sim 0.1 \mu m$ , (in continua riduzione).
- formattazione del disco: nel disco vengo inseriti informazioni controllo (preamble, ECC e spazi vuoti), occupano il 15% dello spazio: differenza tra capacità formattata, non formattata.
- per evitare gli attriti e deterioramento del disco: testina sospesa, da flusso d'aria, assenza di polvere, dischi sigillati.

(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

8 / 48

## Tempi di accesso

- **ricerca** (seek): 5-10 msec - (1 msec per tracce adiacenti)
- **latenza** di rotazione]: 5 msec ( 5400-7200-10.800 RPM (90-120-180 rotazioni/sec) )  
tempo medio di latenza: tempo per mezza rotazione:

$$\frac{\text{periodo}}{2} = \frac{1}{2 \times \text{frequenza}} = \frac{30}{\text{RPM}}$$

## Banda passante

Massima velocità di lettura/scrittura dati:

$$\text{frequenza} \times \text{Settori} - \text{Traccia} \times 512 \text{ MB/sec}$$

100 MB/sec, 512 byte - 5  $\mu$  sec.

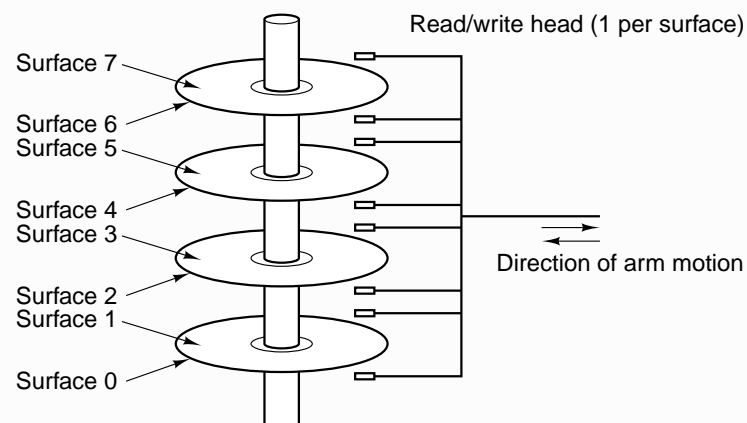
Due grandezze:

- **burst**: banda passante massima
- **sustained**: banda passante mantenibile. Più bassa per: ricerca dei settori, informazioni di controllo.

La frammentazione del disco peggiora le prestazioni.

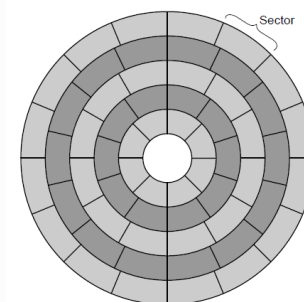
## Cilindri:

l'insieme di tracce alla stessa distanza radiale, testine solidali.



## Numero di settori per traccia

- Costante
  - più semplice da gestire;
  - minore densità di dati, determinata dalla traccia più interna.
- Variabile nelle diverse zone (10-30 zone)
  - ogni zona viene sfruttata al massimo
  - la velocità di trasferimento dipende dalla zona (ai bordi più veloce)



## Controllore del disco:

Circuito di controllo, solidale con il disco, può contenere un processore, e svolge i seguenti compiti:

- interfaccia con il bus
- movimento della testina
- correzione degli errori
- buffering - caching
- rimappaggio settori danneggiati
- informazioni sull'affidabilità del disco (S.M.A.R.T.)

## Dischi IDE/ATA

Integrated Device Electronic / Advance Technology Attachment

I dischi sono collegati con bus propri a un bridge (South-Bridge).

Evoluzione dei dischi PC XT.

'86: Compaq, Control Data Corporation (CDC), Western Digital.

## Diverse versioni

- **IDE** Limiti nell'indirizzamento settori: indirizzi a 20 bit: testina (4), cilindro (10), settore (6): barriera 512MB.
- **Enhanced IDE** (Parallel ATA): Logical Box Addressing; DMA, banda passante: 16,7 – 133MB/sec.
- **Serial ATA**: un bus seriale, 7 linee, banda passante: 1,5 – 3 – 6 – 16 Gbit/sec, segnale 0.5V (invece di 5V), cavo più lungo. Collega anche dischi esterni: eSATA
- **ATAPI**: estensione per CD, floppy disk, ....

Economici, utilizzati anche su workstation, server.

## Dischi SCSI

- diversi dai dischi ATA per il bus scheda controllo - disco: bus SCSI.
- Prestazioni superiori rispetto ai dischi ATA.
- Bus più versatile e flessibile: non solo dischi.
- Più costosi: utilizzati in workstation - server - PC fascia alta.

## SCSI (Small Comp. System Interf.)

Bus per dispositivi interni o esterni al computer: dischi rigidi (dischi SCSI), ma anche: CD - DVD - unità nastro - stampati.

- **versioni:** SASI ('79), SCSI-1, SCSI-2, Fast SCSI-2, Fast & wide SCSI-2, SCSI-3 Ultra, Serial SCSI (SAS).
- **frequenze:** 5 – 10 – 20 – 40 – 80 – 160 MHz (anche con DDR)  
3 – 6 – 12 GHz (bus seriale).
- **linee di dati:** 8 - 16 line (1+1, bus seriale)
- **banda passante** 5 – 640 MB/sec  
(400 – 1500 MB/sec, bus seriale)

(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

17 / 48

## Serial Attached SCSI (SAS)

- Connessioni punta a punto.
- Possibile usare Expanders, connettere più dispositivi tra loro.
- Più dispositivi possono diventare master.
- Compatibilità software con Parallel SCSI, e hardware con SATA.

(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

19 / 48

## Parallel SCSI

- Collega sino a 7- 15 controllori (unità) e max 2048 periferiche per controllore. Collegamento a cascata - con terminatore.
- 50 fili - 25 di massa per eliminare disturbi. 8 dati — 1 parità — 9 controllo — 7 alimentazione e usi futuri.
- **Arbitraggio decentralizzato:** utilizzo linee dati, priorità prestabilita. Tutti i dispositivi possono cominciare una comunicazione.
- **Asincrono:** con protocollo di hand-shake, Molti (> 10) tipi di comunicazioni possibili.

(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

18 / 48

## RAID (Redundant Array of Independent Disk)

Nuova **organizzazione** dei dischi  
**migliorare prestazioni:** banda passante e affidabilità.

Idea nata da un lavoro teorico [Paterson et al 88]

Idea base: un insieme di dischi in parallelo,

- **maggiore banda passante:** accesso parallelo ai dati, dischi letti contemporaneamente; necessaria perché i tempi di accesso dei dischi migliorano lentamente (un fattore 10 in 30 anni);
- **maggiore affidabilità:** ridondanza dell'informazione: duplicazione dei dati su più dischi, codici di controllo.

(Architettura degli Elaboratori)

Memoria secondaria

20 / 48

# RAID: implementazione

Software o hardware:

- **software**: non necessita di schede apposite;
- **hardware**: trasparente al sistema operativo.

Spesso: gruppo di dischi collegati ad un bus SCSI (supporta 7-15 dischi): controllore del bus SCSI controllore RAID.

Utilizzati nei server.

# Distribuzione dei dati

Lo spazio disco diviso in **strip** (strisce), di  $k$  settori.

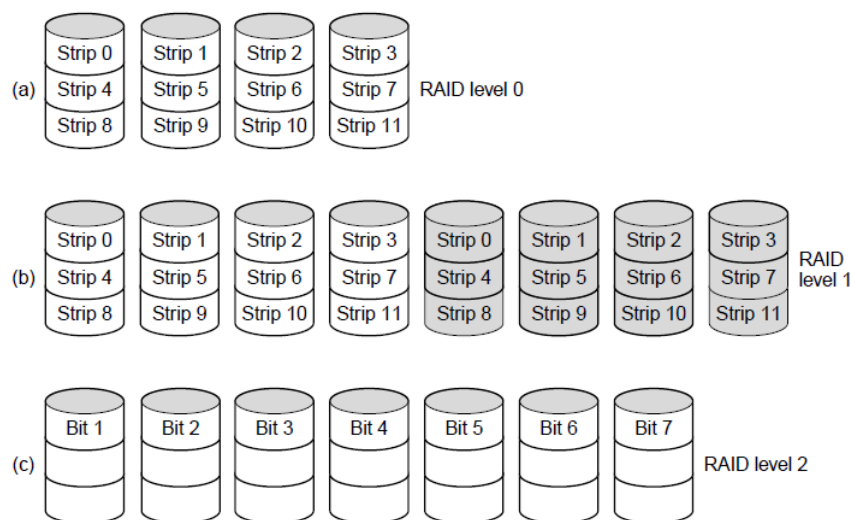
Diversi schemi di distribuzione dati: livelli 0 - 5 (ma nessuna gerarchia tra loro).

- diversi modi di distribuire le strip sui dischi,
- diverse metodi di correzione degli errori

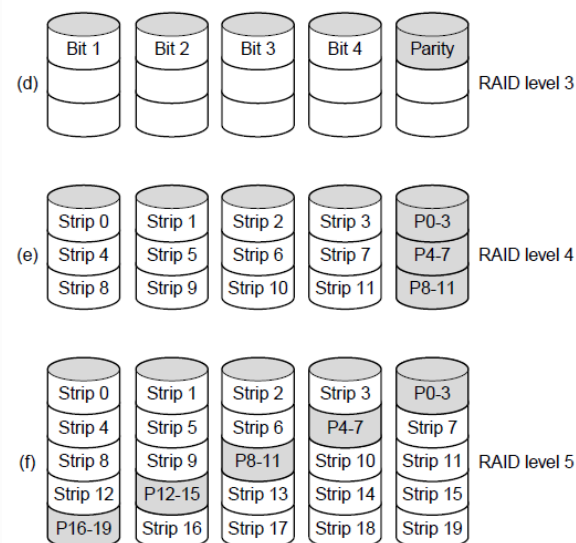
Esistono anche livelli non canonici: livello: 6, 10, 0+1, 50, 100, JBOD (ideati successivamente).

Distribuzione dei dati sulle strip dischi: **striping** eseguito dal controllore RAID (o dal S O).

## Livelli RAID



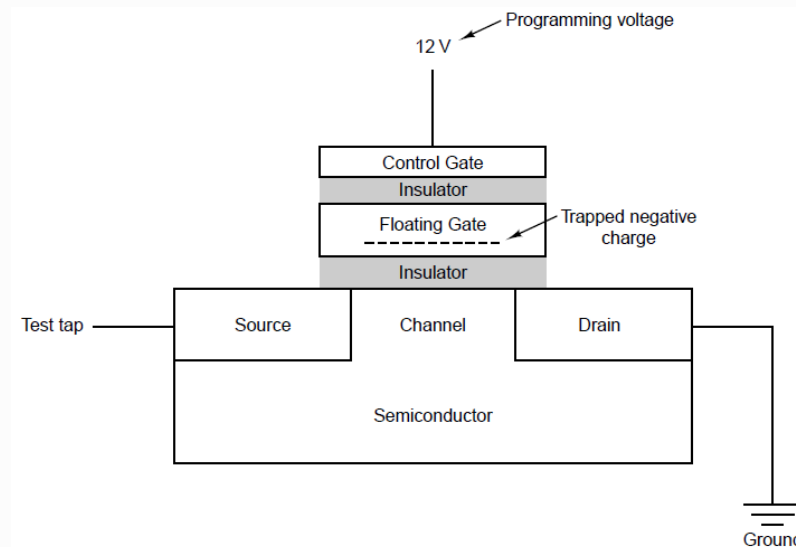
## Livelli RAID



## SSD Solid State Drive

- Memorie flash che si interfacciano come dischi magnetici (SATA, SAS)
- un bit memorizzato con un transistor MOSFET con floating gate,
- il floating gate può intrappolare una carica elettrica;
- scrittura: inserzione della carica con una tensione alta (effetto tunneling, quantistico) ;
- lettura: la carica modifica il comportamento del transistor;

## Memorie flash



## Memorie flash

Due tipi di memorie flash, corrispondenti a due diversi modi di collegare le celle di memoria

- NOR flash: accesso alla singola parola, meno capienti e con minori prestazioni, adatte a contenere il BIOS;
- NAND flash: accesso e cancellazioni a blocchi, più capienti, buone prestazioni, adatte a sostituire gli HDD;  
le NAND flash possono essere:
  - SLC (single level cell): un bit per cella, più affidabile e veloce;
  - MLC (multi level cell): più livelli di carica possibile, due (tipicamente) bit per cella, più capienti.

## SSD Vantaggi

- velocità, tempi di accesso più rapidi, soprattutto la ricerca dei settori;  
velocità aumentata dividendo la memoria in banchi gestiti come dischi raid 0.
- assenza di parti in movimento:  
resistenza agli urti;
- consumi ridotti.



## SSD Svantaggi

- costo, circa 7-8 volte superiore;
- le operazioni di scrittura usano:  
sino a  $10^5$  scritture,  
( $> 10^6$  con nuove tecnologie);  
necessario di un meccanismo di wear leveling:  
ridistribuzione delle operazioni di scrittura.  
rimappaggio dei settori danneggiati;
- read disturb, ripetute letture di una cella  
possono modificare celle vicine;  
necessita conteggio delle letture (su un blocco)  
e meccanismi di riscrittura.

## Dischi Ottici — CD - DVD

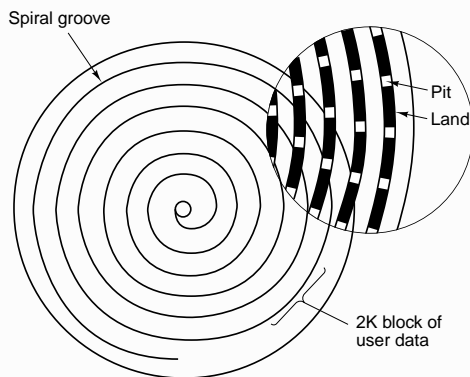
Informazioni "incise" su uno strato di materiale riflettente,  
lette tramite laser

- resina di polycarbonato
- strato di alluminio (oro)
- strato protettivo

Matrice di vetro — incisione: laser alta potenza —  
fori di 0,8 micron — copie mediante stampo  
1979: CD musicali, Philips-Sony, libro rosso

## Distribuzione dei dati

Spirale: **pit**, **land**: cambio 1 — altrimenti 0



Velocità di scorrimento: 120 cm/sec: velocità  
angolare: 530 - 200 rpm.

Motivazioni: mantenere costante il flusso dei dati.

## CD-ROM: supporto per dati generici

1984, Philips-Sony, **libro giallo**.

Tre livelli di correzione degli errori:

**simboli**: 14 bit (per byte)

**frame**: 42 simboli (per 24 byte)

**sette**: 96 frame — 16 byte preambolo:

00FFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF00 — numero settore  
(3 byte) — modalità (1 byte)

2 modi di registrazione:

**mode 1**: preambolo — 2048 byte dati — 288 byte

ECC (error correction code)

**mode 2**: preambolo — 2336 byte dati



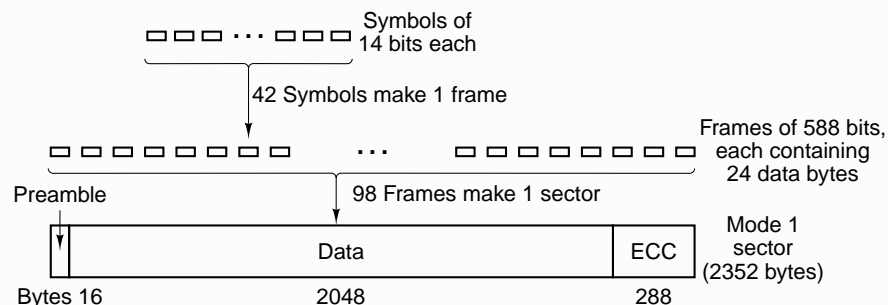
## Prestazioni

**Banda passante:** 150KB/sec single speed.

**Lettori CD n×**: leggono i CD n volte più velocemente (... i dati scritti nella parte esterna).

**Capacità:** ~ 700 MB.

**Ricerca settori:** per tentativi, ~ 0.1 sec



percentuale dati: 28%,

## Definizione di file system

1986, libro verde, capacità multimediali

High Sierra: 3 livelli

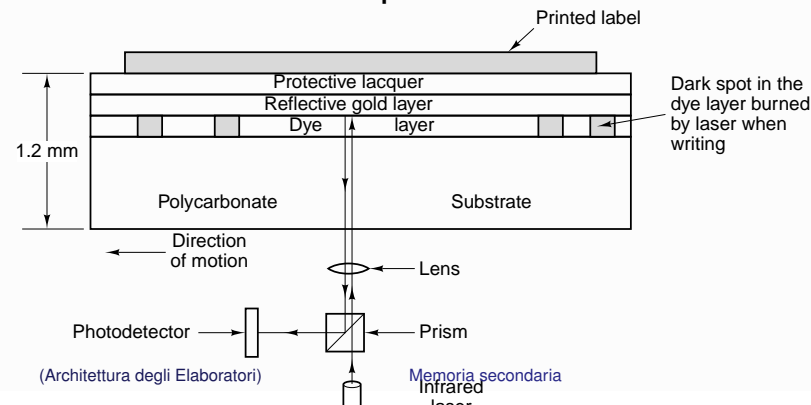
- **livello 1**: semplice e compatibile DOS - Apple - Unix
- **livelli 2, 3**: più sofisticati: nomi lunghi, file non contigui.

## CD-R CD-recordable

Diversa tecnologia:

**Strato riflettente** in oro, senza fori, con un solco guida a spirale di ampiezza variabile.

**Strato di colore** tra polycarbonato e oro — oscurata da un laser a media potenza



## Specifiche CD-R

**Specifiche:** libro arancione CD-ROM XA  
Scrittura incrementale:

- **VTOC Volume Table of Contents**  
Normalmente unica — nei CD-R una per track.
- **CD-ROM track:** settori scritti nella stessa sessione

La scrittura non prevede interruzioni.

CD-audio corrotti per evitare le duplicazioni

## CD-RW ReWritable

Strato alluminio sostituito da lega con due stati stabili, con diverse capacità riflettenti:

- **cristallino** riflettente;
- **amorfo** semi riflettente.

Laser a tre potenze:

- **alta potenza** porta allo stato amorfo
- **media potenza** porta allo stato cristallino
- **bassa potenza** lettura

## DVD

Per 25 anni, i dischi ottici per hanno sempre mantenuto la stessa capacità.

Migliorati nella velocità, banda passante.

Progressi tecnologici hanno portato a dischi ottici con maggiori capacità (mini-disc), ma nessuno ha avuto successo sino ai DVD.

**Digital Video Disc – Digital Versatile Disc**

1996 – Consorzio: 10 ditte elettronica - studi di cinematografici

**Killer**-application: registrazione di film con buona risoluzione.

## Tecnologia

La stessa dei CD: un raggio laser legge dei pit e land disposti a spirale;

stesse dimensioni del disco, le differenze riguardano:

- pit più piccoli:  $0,4\mu$  invece di  $0,8\mu$
- spirale più serrata:  $0,74\mu$  invece di  $1,6\mu$
- raggio laser a più alta frequenza (e con lunghezza d'onda più corta:  $0,65\mu$  invece di  $0,78\mu$ )
- nuovi metodi di correzione degli errori

## Capacità

4,38 GB (4.707.000.000 bytes) (7 volte quella di un CD)

Banda: 1,4 MB/sec: (10 volte quella di un CD)  
sufficiente per 133 min di video compresso con MPEG-2

## Diverse capacità

- DVD strato singolo - singola facciata (4,7 GB)
- DVD strato doppio - singola facciata (8,4 GB)
- DVD strato singolo - doppia facciata (9,4 GB)
- DVD stato doppio - doppia facciata (17 GB)

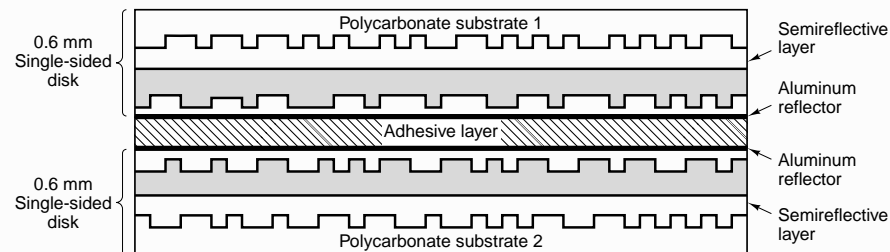
### Diverse unità di misura:

- 1 GB DVD = 1 GB disco =  $10^9$ B
- 1 GB (GiB) Ram =  $2^{30}$ B  $1,07 \times 10^9$ B

## Doppio strato, doppia facciata

Doppio strato: due spirali di dati sullo stesso lato,

- strato di alluminio,
- strato di materiale semi-riflettente.



## Aspetti connessi al copyright

- per separare i mercati:  
diversi formati DVD-Video per i diversi mercati (Asia - Europa - Nord America - ...)
- per impedire la copiatura:  
immagini codificate con un algoritmo segreto (CSS system), inserito su un chip (possiamo esaminare solo i segnali video non il codice che li genera), recentemente scoperto e reso pubblico DeCSS.

## Diversi formato dati

- **DVD-Video** Video, audio e contenuti grafici
- **DVD-ROM** Read-only per file generici
- **DVD-Audio** Audio di alta qualità

## DVD (ri)scrivibili

- **DVD-R** Write-once per file generici
- **DVD-RW** Read-Write di file generici (4,7 GB – cancellazione sequenziale – 1.000 riscritture)
- **DVD-RAM** Read-Write di file generici (2,6 - 4,7 GB – cancellazione a settori – 100.000 riscritture – simula un HD – incompatibile con gli altri formati)

## Altri standard (non DVD Forum):

- **DVD+R** Write once: definito dalla DVD Alliance, migliori caratteristiche ma incompatibile con DVD-R (definito dalla DVD Forum),
- **DVD+RW** versione Read-Write del DVD+R,
- **DVD+R** a doppio strato,

## Successore: Blu-ray disc

- nuovo standard definito, principalmente, dalla Sony;
- supporta video in alta definizione (HDTV);
- maggiore capacità: 25 GB per singolo strato, 50 GB doppio strato;
- laser di colore blu-violetto, minore lunghezza d'onda;
- pit-land più piccoli, nuovo ECC;
- si è imposto sullo standard alternativo HD-DVD.