

Memoria secondaria e off-line

Maurizio Rebaudengo,
Matteo Sonza Reorda,
Luca Sterpone

Politecnico di Torino
Dip. di Automatica e Informatica



Sommario

- **Introduzione**
- **La memoria secondaria**
 - **Memorie a disco magnetico**
 - **Memorie a stato solido**
- **La memoria off-line.**

Introduzione

La memoria secondaria è normalmente composta da dischi magnetici (Hard Disk Drive o HDD) e memorie a stato solido (Solid State Disk o SSD).

Dischi ottici, cartucce e nastri costituiscono normalmente la memoria off-line.

Questi tipi di memorie sono importanti

- **nei sistemi general-purpose**
- **nei sistemi special-purpose**
- **nei centri di calcolo.**

Queste memorie sono caratterizzate da *non volatilità, basso costo ed elevato tempo di accesso.*

Accesso

L'accesso alle memorie secondarie e off-line avviene attraverso apposite periferiche connesse al bus del sistema.

Memorie a disco magnetico

L'elemento di memoria è un disco ricoperto di materiale magnetico, su cui esistono una serie di *tracce* concentriche.

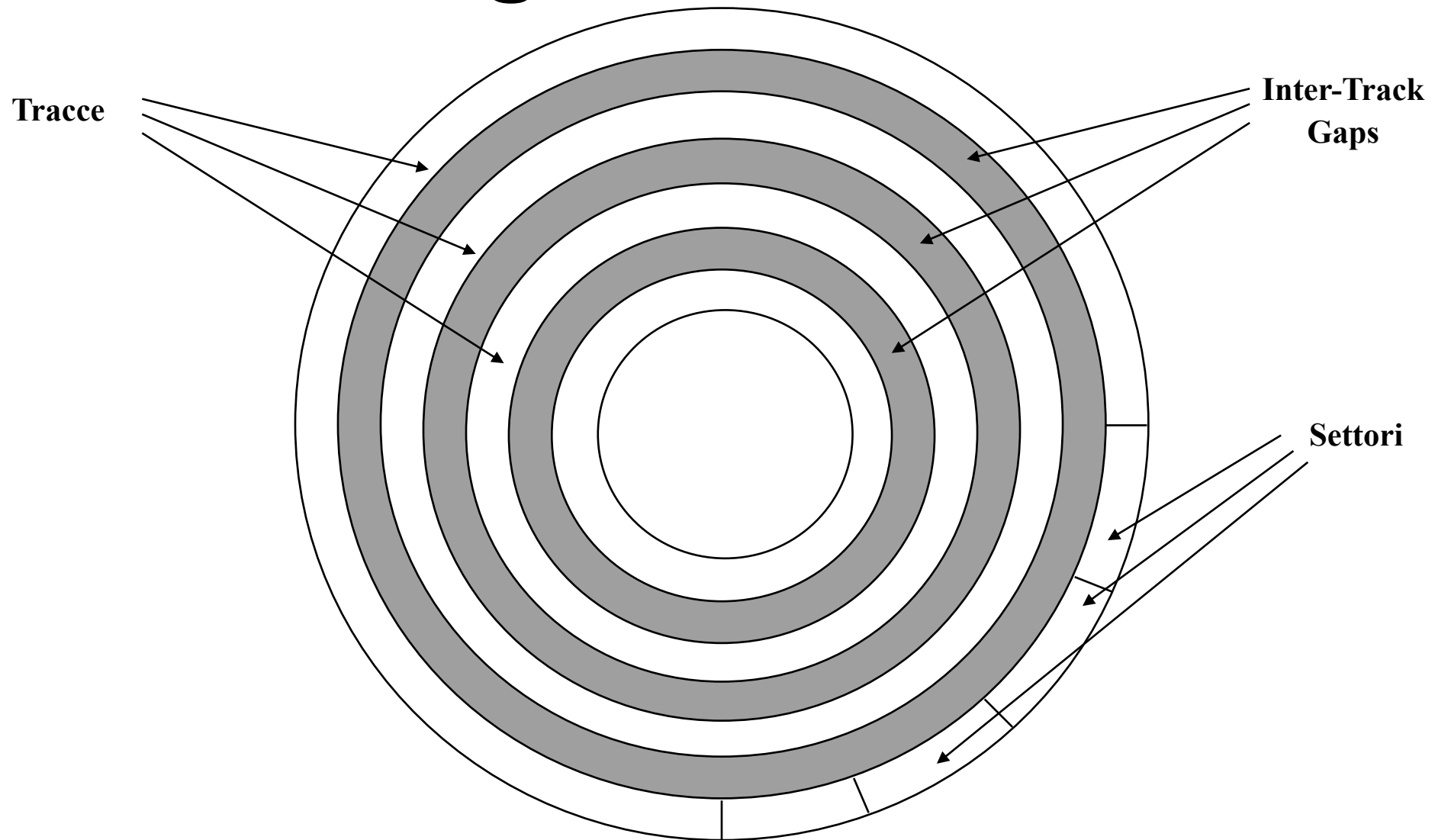
L'unità di memoria può essere costituita da più dischi: in tal caso essi sono connessi ad un unico asse e ruotano a velocità costante.

Ogni superficie (*faccia*) è dotata di una testina in grado di muoversi radialmente fin sulla traccia desiderata.

Le varie testine si muovono di solito in maniera solidale.

L'insieme delle tracce ad uguale distanza dal centro poste su facce diverse è denominato *cilindro*.

Organizzazione



Organizzazione (II)

Tutte le tracce contengono lo stesso numero di bit, ma hanno una diversa lunghezza.

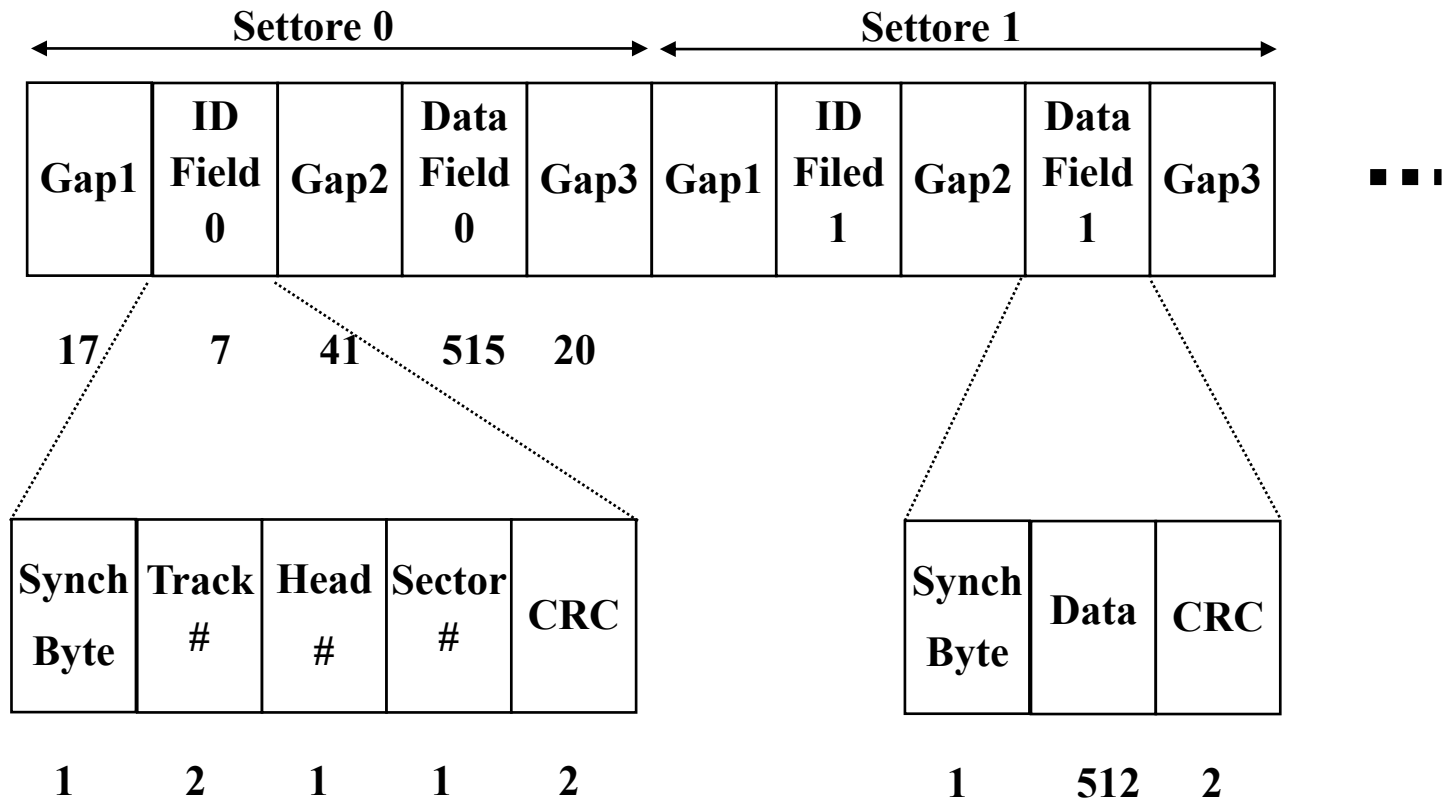
La densità lineare di informazione cresce quindi andando verso il centro.

Ogni traccia è organizzata in *settori*, corrispondenti all'unità di trasferimento.

Ogni settore è suddiviso in 2 *campi*, tra loro separati da appositi campi di gap:

- il campo *identificatore*
- il campo *dati*.

Esempio: hard disk Seagate ST506



Accesso al disco

Quando si desidera leggere/scrivere un dato, è necessario

- **posizionare la testina sopra la traccia, muovendo la testina**
- **posizionare il settore sotto la testina, muovendo il disco**
- **leggere il settore.**

Tempo di accesso

Il tempo di accesso t_A è determinato da:

- t_s : tempo per posizionare la testina sulla traccia opportuna (*seek time*)
- t_L : tempo per posizionare la testina sul settore, all'interno della traccia (*latency time*)
- t_D : tempo per leggere serialmente i dati (*data-transfer time*).

Si ha quindi che

$$t_A = t_s + t_L + t_D$$

Accesso a blocchi

Dal momento che τ_s e τ_L sono significativi rispetto a τ_D , i dati sono normalmente raggruppati in *settori* (di dimensioni indicativamente pari a 1 KB), e la lettura/scrittura dei dati avviene utilizzando il settore come unità minima di accesso.

Densità di memorizzazione e velocità della testina

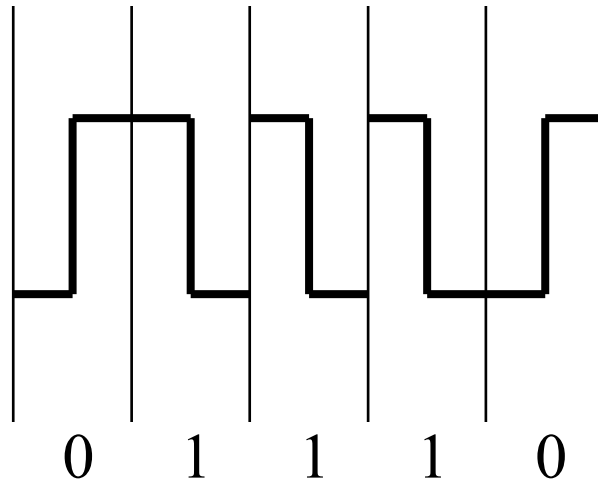
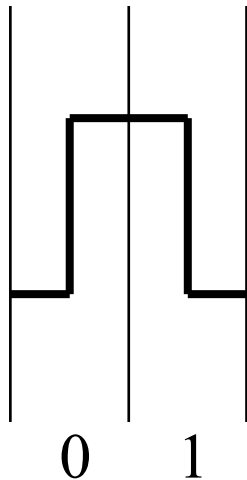
Detta T la densità (in bit/cm) di memorizzazione, e V la velocità (in cm/sec) della testina rispetto alla traccia, la velocità di trasferimento dati una volta che la testina è opportunamente posizionata è data da $T \times V$.

Codifica dei dati

Viene introdotta per evitare di dover utilizzare una traccia di clock per la sincronizzazione.

Una tecnica di codifica molto semplice è quella detta *codifica di fase* o *Manchester*.

Ogni bit di informazione viene memorizzato come una transizione da alto o basso, e viceversa.



Parametri tipici

- **Capacità: dal centinaio di GB ad alcuni TB**
- **Fattore di forma: 8", 5,25", 3,5", 2,5", 1,8", 1", 0,85" (i primi due sono oggi obsoleti)**
- **Seek time: tra 5 e 15 ms**
- **Transfer rate: da 40 a 130 MB/s**
- **Velocità di rotazione: da 5400 a 15000 gpm.**

Esempi

Caratteristiche	Seagate Barracuda ES.2	Seagate Barracuda 7200.10	Seagate Barracuda 7200.9	Seagate	Hitachi Microdrive
Applicazione	Server ad alta capacità	Server ad alte prestazioni	Desktop di fascia bassa	Portatili	Palmasi
Capacità	1 TB	750 GB	160 GB	120 GB	8 GB
Tempo minimo di posizionamento da traccia a traccia	0,8 ms	0,3 ms	1,0 ms	–	1,0 ms
Tempo medio di posizionamento	8,5 ms	3,6 ms	9,5 ms	12,5 ms	12 ms
Velocità dell'albero	7200 rpm	7200 rpm	7200	5400 rpm	3600 rpm
Ritardo medio rotazionale	4,16 ms	4,16 ms	4,17 ms	5,6 ms	8,33 ms
Velocità massima di trasferimento	3 GB/s	300 MB/s	300 MB/s	150 MB/s	10 MB/s
Byte per settore	512	512	512	512	512
Tracce per cilindro (numero di superfici dei piatti)	8	8	2	8	2

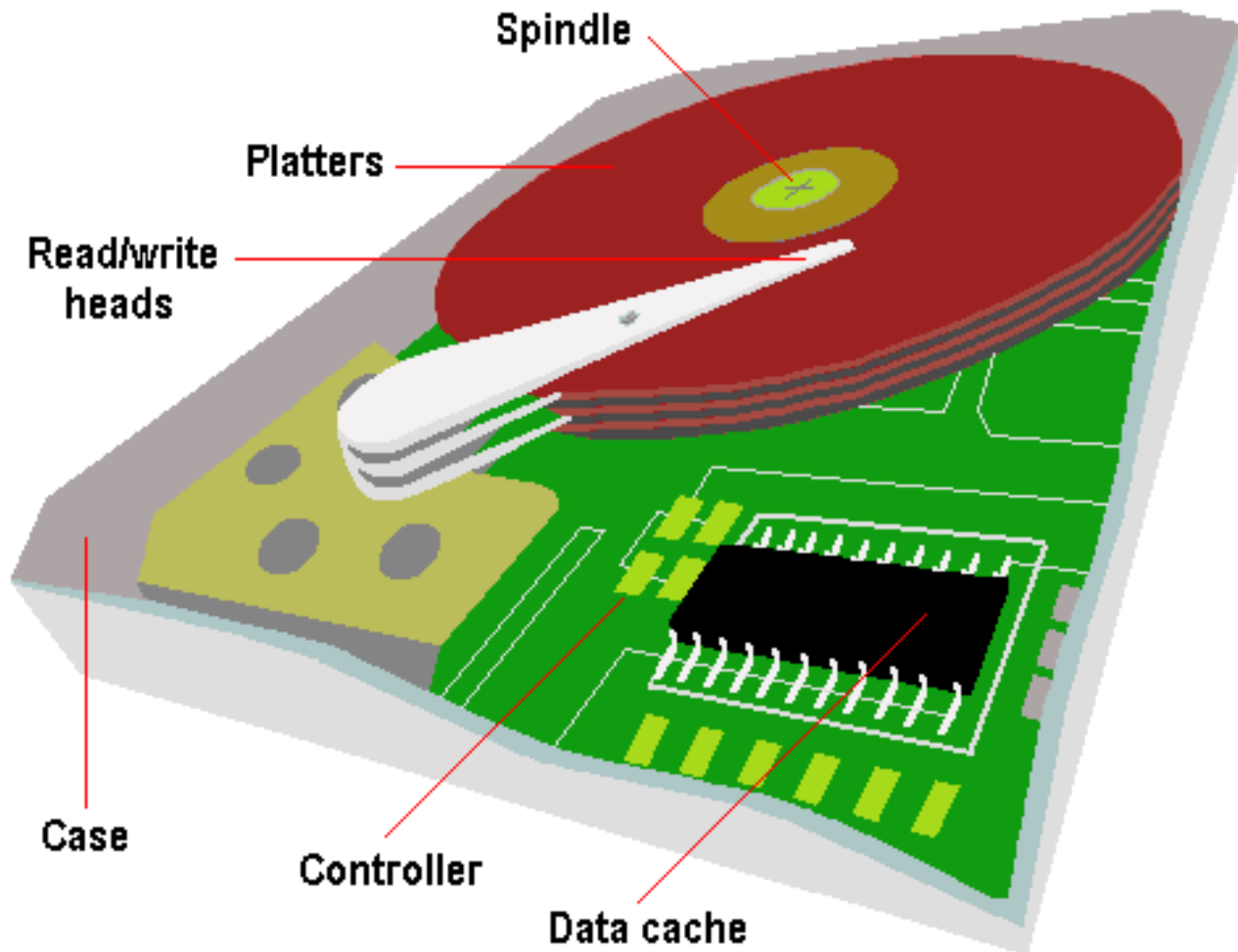
Hard Disk di tipo Winchester

Prendono il nome dal codice convenzionale interno IBM con cui veniva denominato il primo prodotto di questo tipo, il disco modello 3340.

In questo caso la testina è molto vicina alla superficie del disco, in modo da permettere più alte densità di memorizzazione. In pratica essa poggia sul disco quando questo è fermo, ed è sollevata da questo da un effetto aerodinamico prodotto dal cuscino di «aria» generato dalla rotazione.

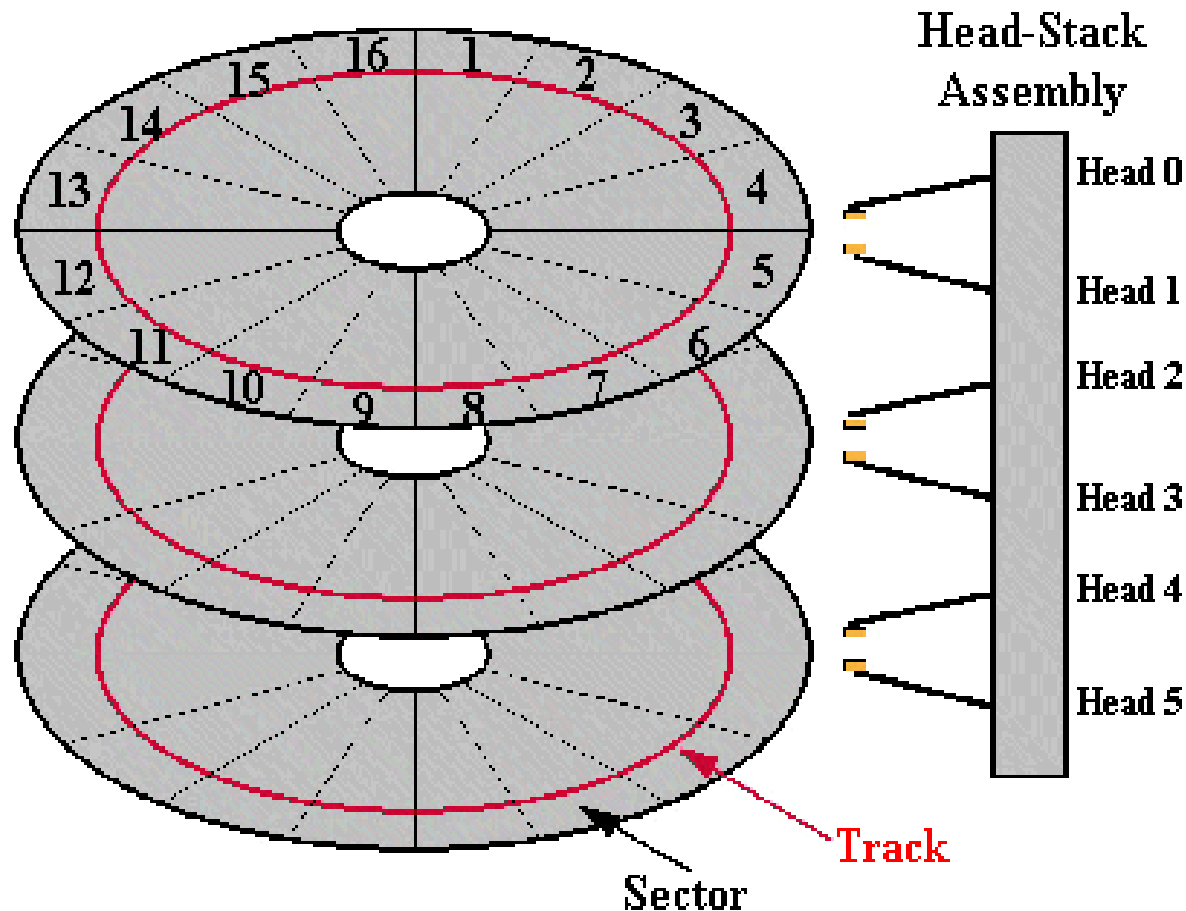
Il disco e la testina sono sigillati in un apposito involucro.

Hard Disk di tipo Winchester



Hard Disk di tipo Winchester

Drive Physical and Logical Organization



Disk driver e disk controller

Il disk driver connette un disco con il disk controller.

Può includere

- un data buffer, composto da una memoria a semiconduttore, che può funzionare da cache del disco**
- un'interfaccia IDE, SATA, SCSI o altro.**

Il disk controller si interfaccia con il processore e la memoria.

Il trasferimento dati tra il disk controller e la memoria principale avviene spesso in DMA.

Unità a stato solido

- **NON sono ad accesso seriale, ma sono sempre più diffuse come memoria di massa secondaria**
- **Realizzate con tecnologie elettroniche**
- **Non hanno parti in movimento**
- **Confronto con gli hard disk tradizionali:**
 - **Più resistenti agli shock fisici**
 - **Minore tempo di accesso (accesso casuale)**
 - **Minore latenza**
 - **Minore consumo**
 - **Più costose (circa 4x a parità di volume – 2016)**
- **Tecnologia più utilizzata: Multi-level cell (MLC) NAND Flash.**

Caratteristiche generali

- La memoria a stato solido, anche denominata Solid State Disk (SSD) è una memoria non volatile di tipo Flash
- Le sue prestazioni permettono l'utilizzo come memoria in lettura e scrittura
- Quando è utilizzata come ROM viene anche denominata Flash ROM



Tecnologia

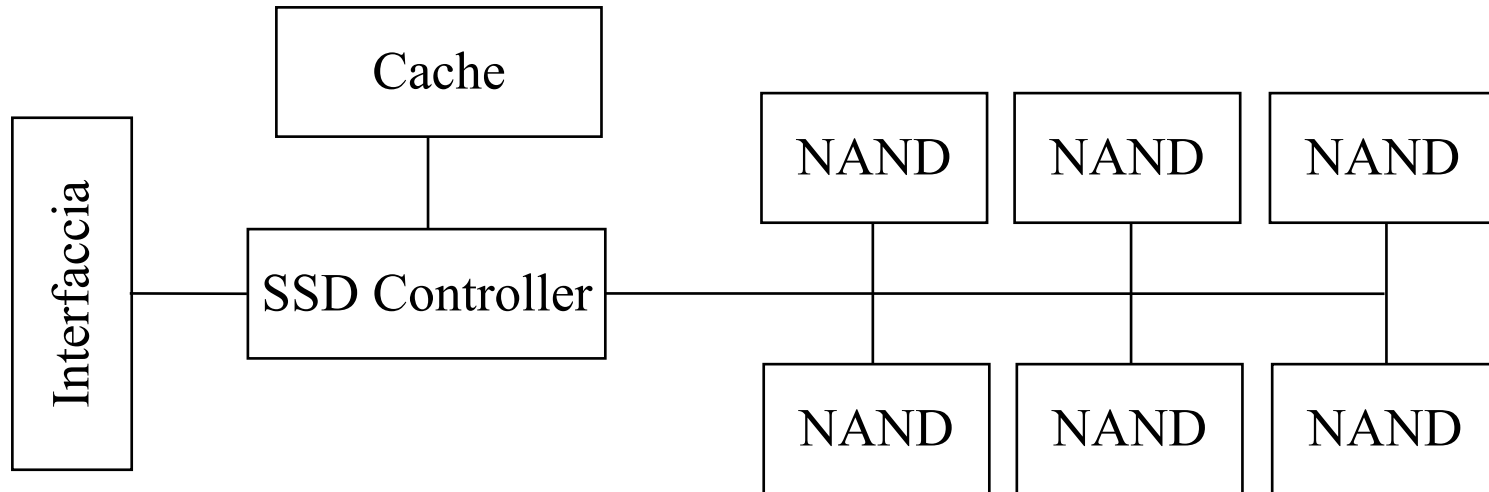
- **Sono utilizzate due tipologie di memorie Flash**
 - **NOR Flash**
 - + **Minor tempo di accesso in lettura rispetto a NAND Flash**
 - + **Utilizzate principalmente per memorizzare il codice in un SoC**
 - **NAND Flash**
 - + **Sopporta un numero più elevato di cicli di scrittura**
 - + **Le celle hanno dimensione minore (circa la metà delle NOR Flash)**

NAND Flash

- **La tecnologia NAND Flash è fondamentale per le memorie SSD**
- **Le celle NAND Flash sono contenute in uno specifico tipo di chip analoghi a quelli di EEPROM**
- **Le celle sono organizzate in una griglia di righe e colonne**
- **I transistor Control Gate e Floating Gate sono disposti in ogni intersezione**

Architettura SSD

- **L'architettura di una memoria a stato solido (SSD) è costituita da 3 elementi:**
 - **Un controller con cache di supporto**
 - **Un'interfaccia**
 - **I moduli di memoria Flash**



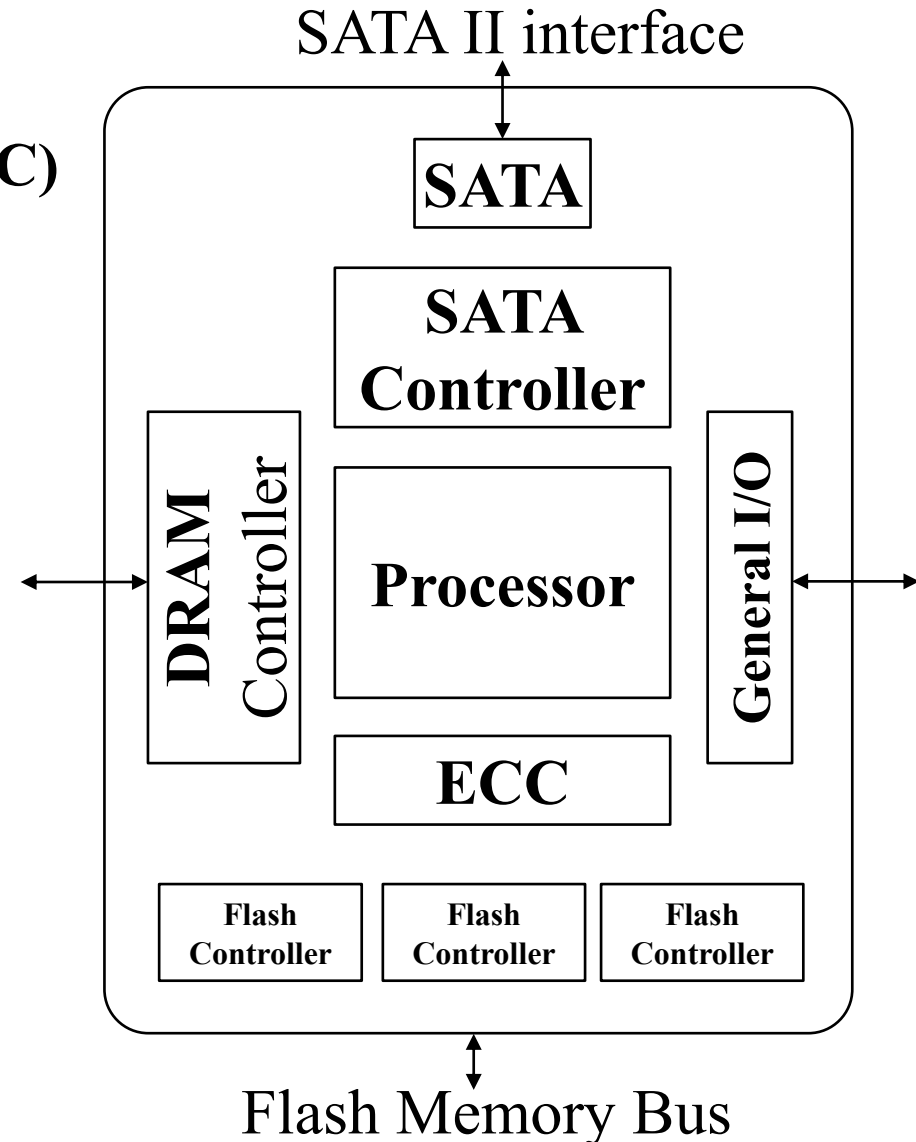
SSD Controller

- **Il controller Flash contiene la circuiteria ponte tra i moduli di memoria NAND Flash e l'interfaccia di input/output verso l'esterno**
- **Il controller è generalmente un processore embedded**

Architettura SSD Controller

- Il Controller è costituito dai seguenti componenti

- Processore embedded
- Error Correction Code (ECC)
- Flash Controller
- DRAM Controller
- I/O interface
- Memory Controller
- Chip Configuration



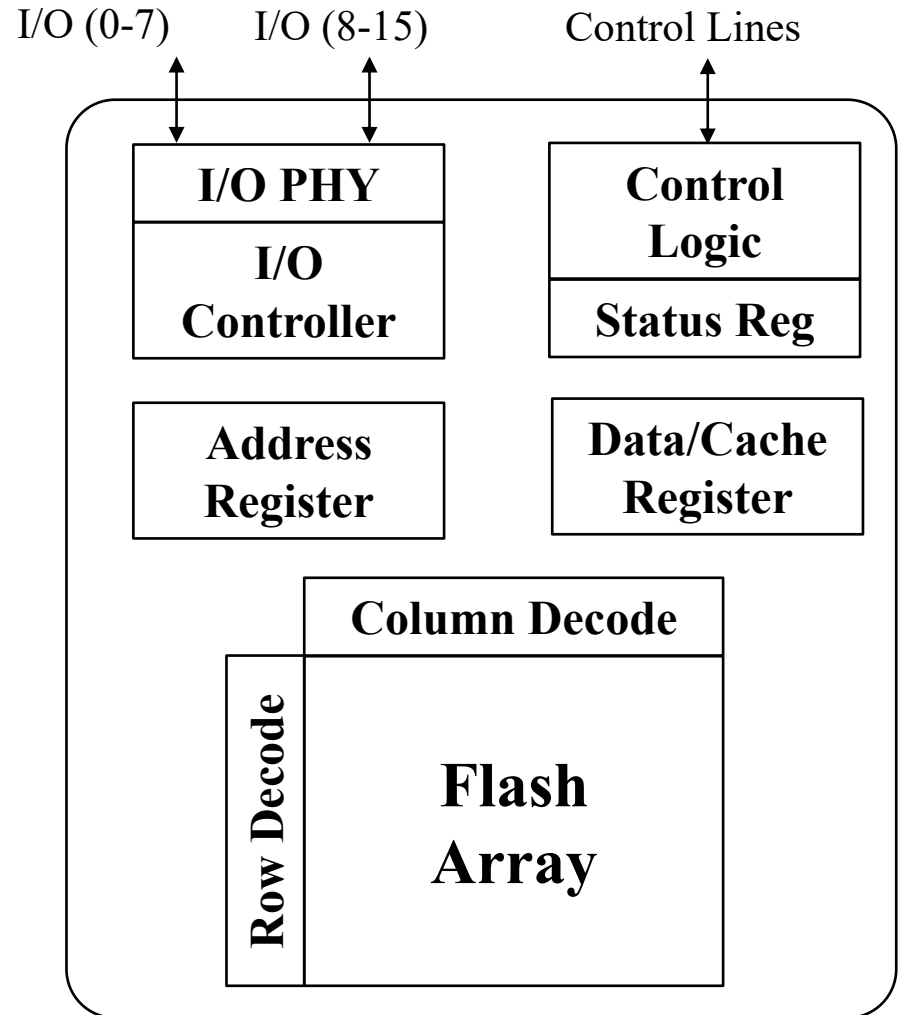
SSD Flash

- Sono uno o più moduli di memoria Flash (generalmente NAND Flash)
- I moduli NAND Flash sono prodotti con taglio compreso tra 1GB e 512GB e sono strutturati in pagine e blocchi
- E' presente un modulo di Error Correction Code (ECC) per ogni pagina
- Una singola NAND Flash ha un numero di riscritture limitate a circa 1M di volte per blocco

Architettura SSD Flash

- Un blocco NAND Flash è costituito dai seguenti componenti:

- Data Interface
- I/O Controller
- Control Logic
- Address Register
- Data/Cache register
- Status register
- Row/Column Decoder
- Flash Array



Interfaccia SSD

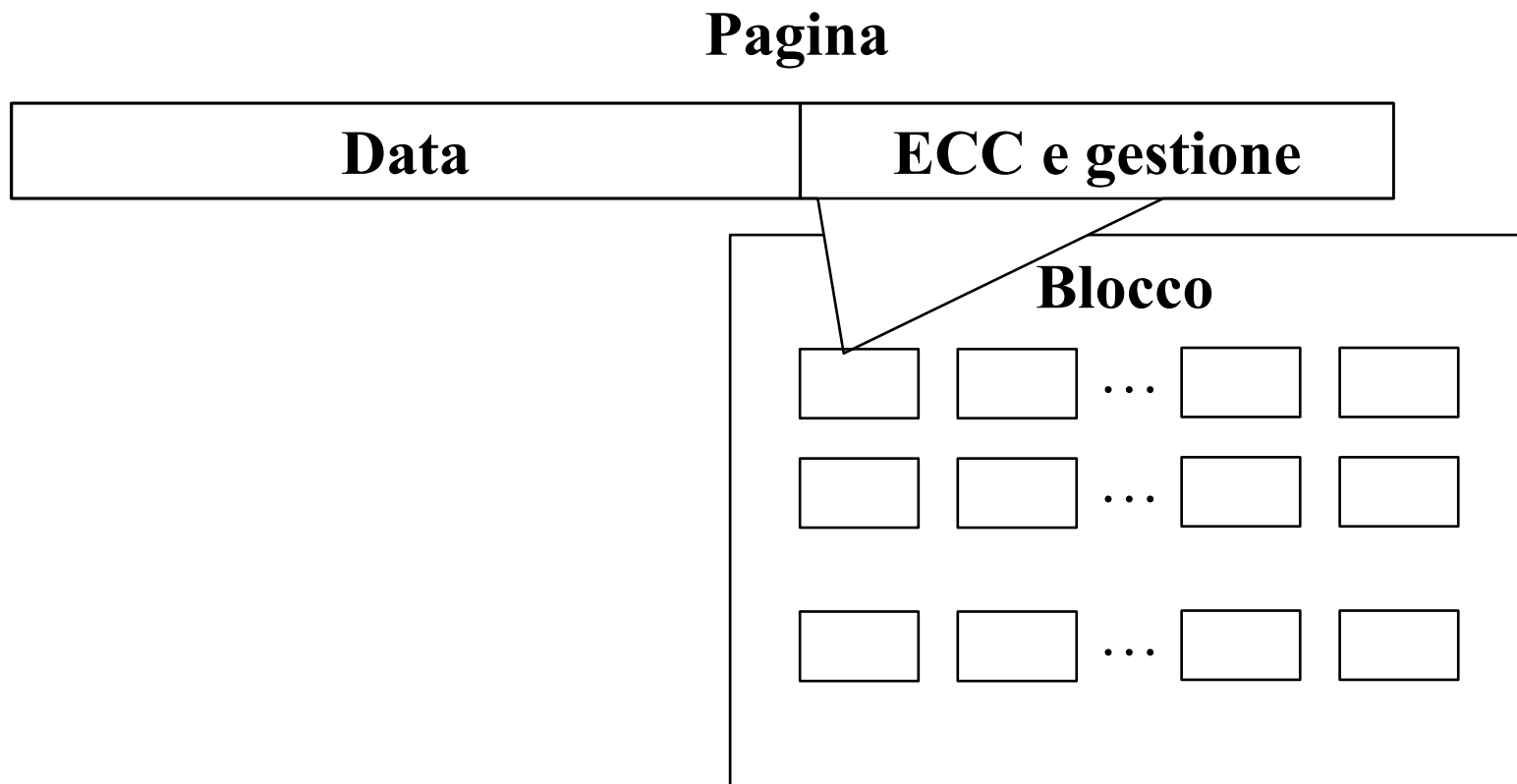
- **L'interfaccia SSD è utilizzata per collegare la memoria SSD al sistema di elaborazione**
- **Nei casi in cui la SSD sia utilizzata in congiunzione a dei dischi magnetici, è utilizzata una interfaccia bus comune per l'intera memoria secondaria**
- **Esistono diversi tipi di interfaccia a seconda delle prestazioni richieste**
 - **Serial ATA**
 - **Fibre Channel**
 - **Serial-attached SCSI**
 - **USB**

Architettura di memoria

- Le celle NAND Flash sono organizzate in pagine (ciascuna di dimensione tra 512B e 4kB) e le pagine sono organizzate in blocchi (ciascuno comprendente tra 32 e 128 pagine)
- Quindi le dimensioni di un blocco variano generalmente tra 16 e 512 kB
- Le operazioni di read / write possono essere eseguite sulle pagine, ma le operazioni di cancellazione sono eseguite a livello di blocco
 - Quando una pagina deve essere riscritta, l'intero blocco deve essere prima cancellato
- Le operazioni sui blocchi / pagine sono coordinate dal controllore

Bocchi e Pagine

- L'unità minima scrivibile è la pagina
- Un blocco è composto da diverse pagine
- Il blocco è l'unità minima cancellabile



Architettura Dati di una SSD

512 bytes

16 bytes

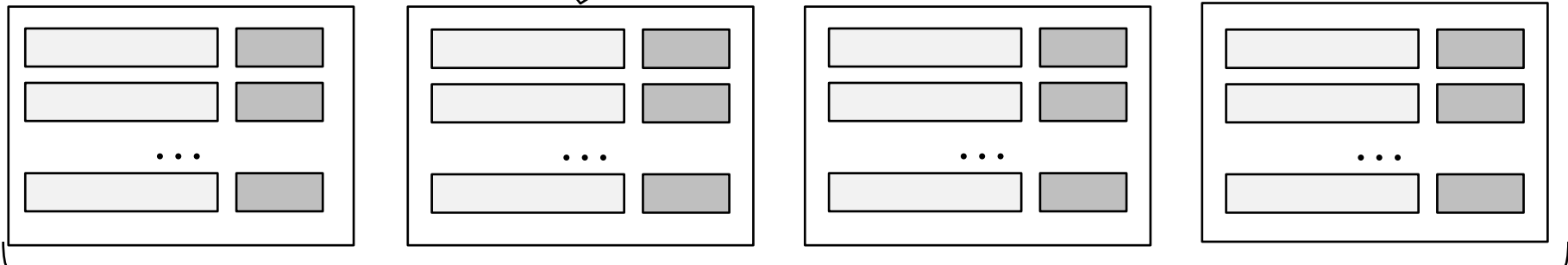
Dati (indirizzabili e gestibili dal
Sistema Operativo)

Gestione ed ECC
(non gestibili dal SO)

2048 bytes

64 bytes

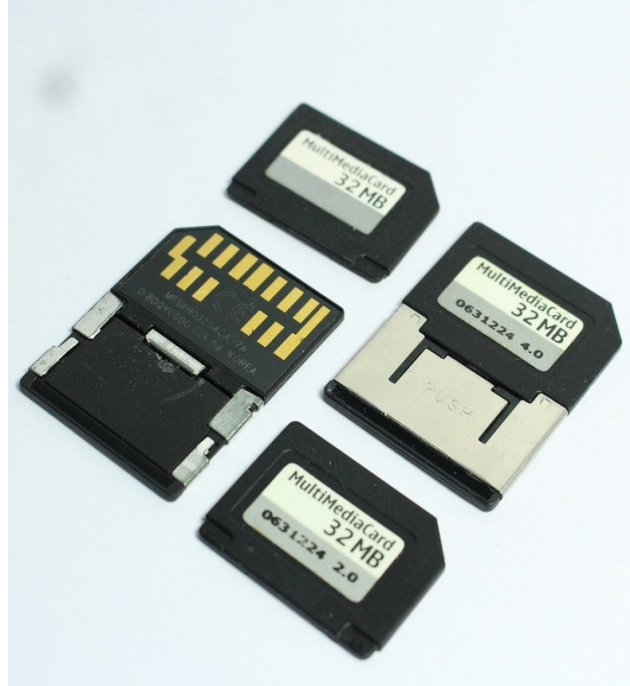
Blocco: 64 pagine



Flash Chip

MultiMediaCard

- Furono il primo standard per memory card a comparire sul mercato insieme al formato SmartMedia
- Erano caratterizzate dalla stessa forma e piedinatura delle moderne Secure Digital (SD)



Compact Flash

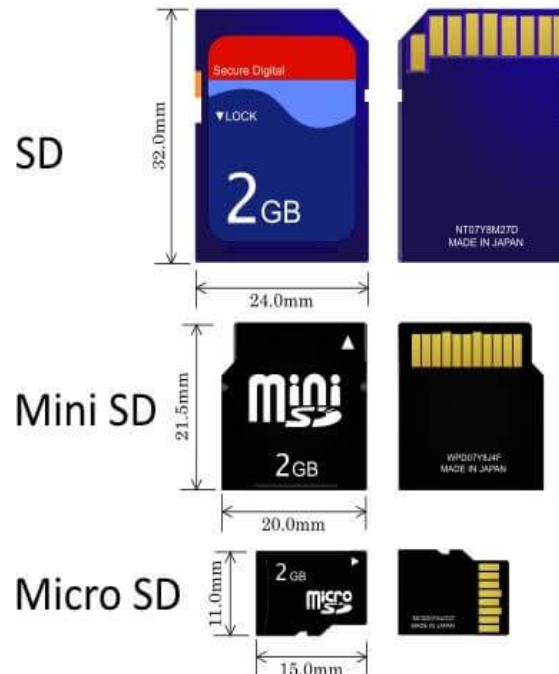
- Sono schede di memoria a stato solido basate su memorie Flash
- Nate inizialmente per uso in fotocamere digitali si sono diffuse in altri campi (es. audio digitale)



Connettore Compact Flash

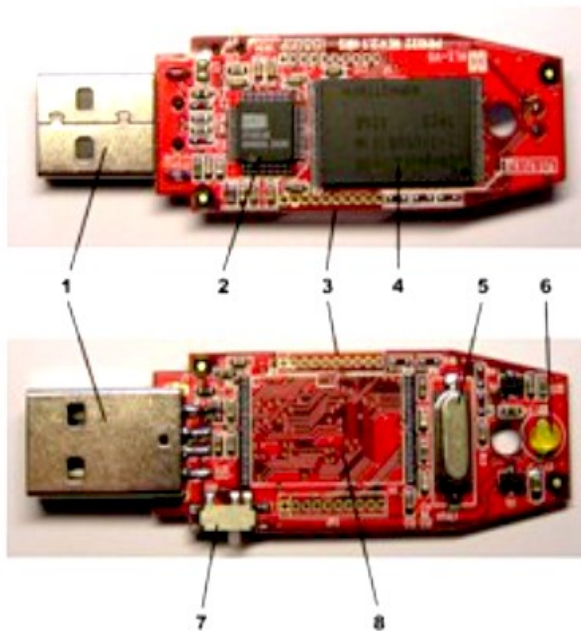
Secure Digital (SD)

- Le Secure Digital (SD) sono il più diffuso formato di schede di memoria per dispositivi elettronici general-purpose
- Utilizzate per memorizzare grandi quantità di dati all'interno di memorie Flash



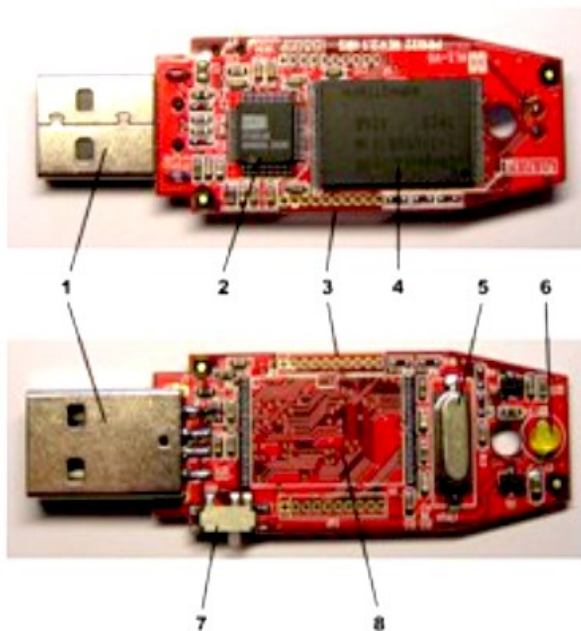
Chiave USB

- E' una memoria di massa portatile di dimensioni contenute collegata al computer tramite USB
- I dati sono memorizzati in una memoria di tipo NAND Flash



Chiave USB

- E' una memoria di massa portabile di dimensioni contenute collegata al computer tramite USB
- I dati sono memorizzati in una memoria di tipo NAND Flash



1. Connettore USB
2. Chip di gestione protocollo USB
3. Pin per test
4. NAND Flash chip
5. Oscillatore
6. LED funzionamento
7. Blocco scrittura
8. Spazio per NAND Flash chip ausiliario

SSD vs HDD

3.3 Gbps SSD		3.8 Gbps HDD
NAND Flash	Tecnologia	Dischi magnetici
64GB	Capacità	80GB
75gm	Peso	365gm
Lettura: 100MB/s Scrittura: 80MB/s	Prestazioni	Lettura: 59MB/s Scrittura: 60MB/s
1W	Potenza	3.86W
1500Gs	Resistenza Shock	170Gs
0°C – 70°C	Temperatura di esercizio	5°C – 55°C
MTBF > 2M ore	Robustezza	MTBF < 0.7M ore

Applicazioni tipiche

- **General Purpose Computer**
- **Smartphone**
- **Server**
- **HD Camcorder**
- **Digital Camera**
- **Smart TV**

Vantaggi

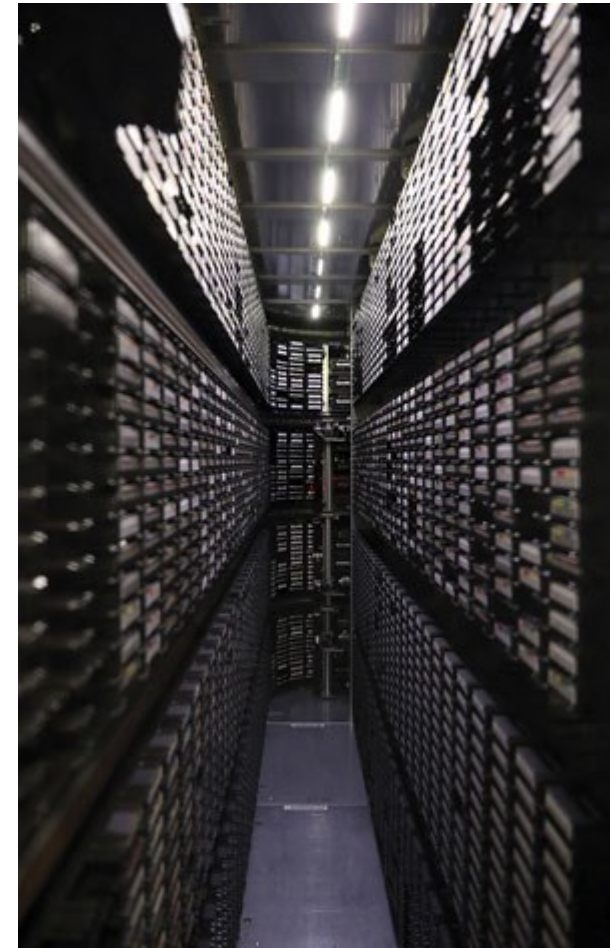
- **Alte prestazioni: significativamente maggiori rispetto a HDD**
- **Seek time ridotto: fino a 60x più veloci degli HDD**
- **Maggiore affidabilità: nessuna parte meccanica in movimento, fino a 1500Gs di resistenza a shock meccanici**
- **Minore consumo di potenza**
- **Operatività silenziosa**
- **Leggere: perfette per dispositivi portabili**
- **Temperatura di esercizio maggiore**

Svantaggi

- Sono più costose degli HDD tradizionali
- Offrono una capacità di memoria inferiore degli HDD tradizionali
- Velocità di scrittura ridotta (soprattutto per modelli SSD basati su MLC Flash)

Memorie off-line

- In alcuni contesti esiste la necessità di archiviare grandi moli di dati digitali (ad esempio filmati)
- In questi casi il tempo di accesso non è un problema
- I parametri importanti sono
 - Il costo, includendo il costo di manutenzione (che dipende dai tempi di obsolescenza dei supporti e dei formati adottati)
 - La durata
 - L'ingombro
- Per queste applicazioni si usano
 - Nastri magnetici
 - Cartucce
 - Memorie ottiche



Memorie a nastro magnetico

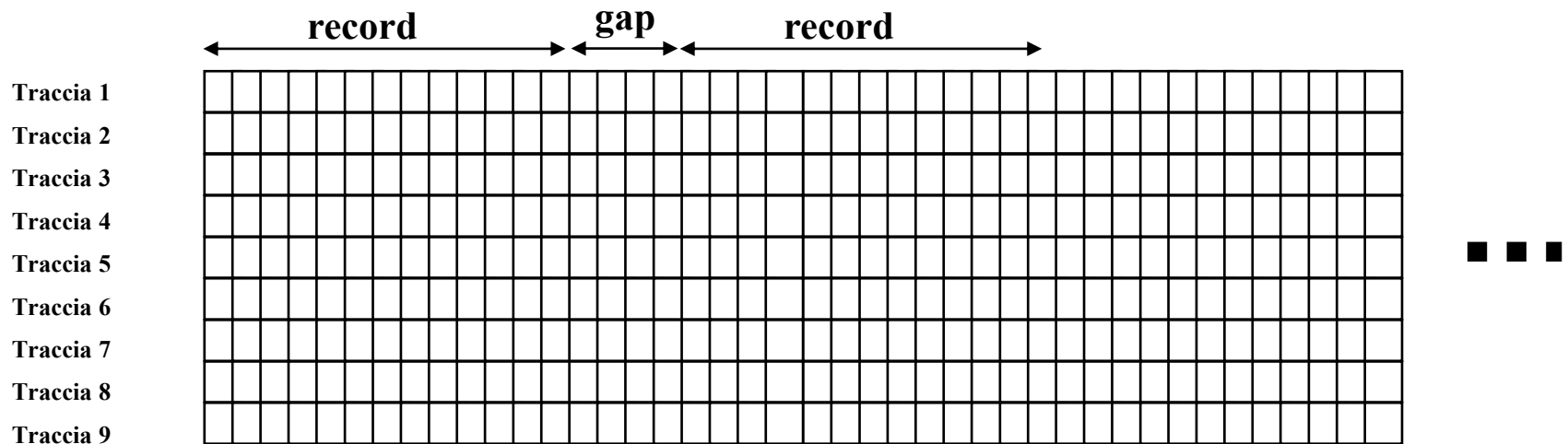
In questo caso il supporto è un nastro di plastica flessibile largo 1/2 pollice (12,65 mm), su cui sono memorizzate un certo numero di tracce parallele (ad esempio 9).

Ogni traccia possiede la sua testina, ed è quindi possibile leggere/scrivere contemporaneamente le varie tracce.

Per esempio, in alcuni nastri i bit di ogni byte sono distribuiti tra le prime 8 tracce; l'ultima contiene un codice di parità.

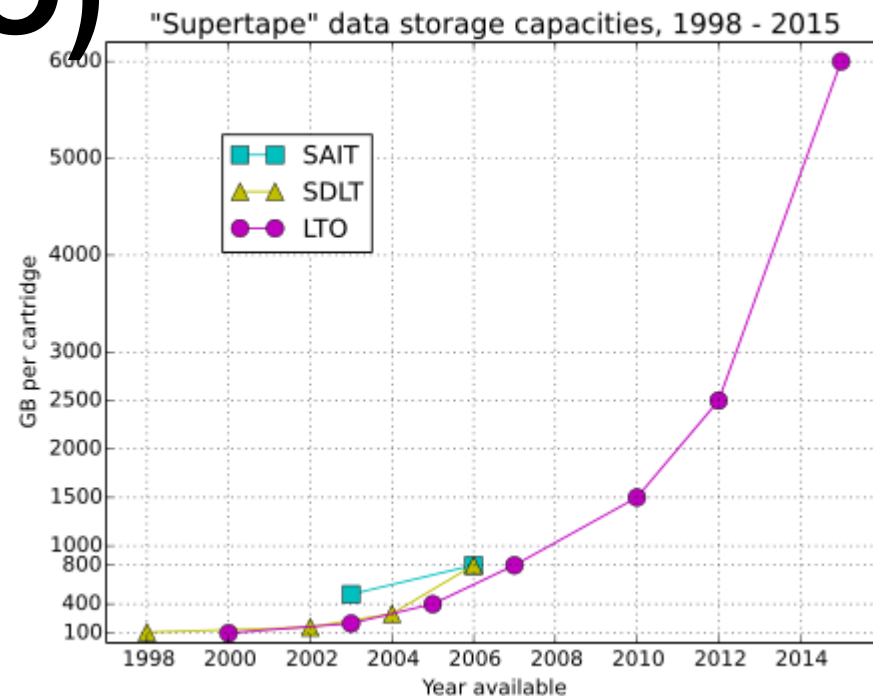
I dati sono organizzati in record, che possono essere di dimensione fissa (e quindi sostituibili da altri) o variabile (ottimizzando l'uso del nastro).

Organizzazione di un nastro



Linear Tape-Open (LTO)

LTO (anche noto come *Ultrium*) è lo standard dominante nel mercato dei super-tape, caratterizzati da grandi capacità di memorizzazione.



	LTO-1	LTO-2	LTO-3	LTO-4	LTO-5	LTO-6	LTO-7	LTO-8	LTO-9	LTO-10	LTO-11	LTO-12
Release date	2000 ^[5]	2003	2005	2007	2010 ^[6]	Dec. 2012 ^[7]	Dec. 2015 ^{[8][9][10]}	Dec. 2017	TBA	TBA	TBA	TBA
Native/raw data capacity	100 GB	200 GB	400 GB	800 GB	1.5 TB ^[11]	2.5 TB ^[12]	6.0 TB ^{[10][13]}	12 TB ^[14]	24 TB ^{[11][15]}	48 TB ^[11]	96 TB ^[11]	192 TB ^[11]
Max uncompressed speed (MB/s) ^{[13][Note 1]}	20	40	80	120	140	160	300 ^[16]	360	TBA	TBA	TBA	TBA
Time to write a full tape at max uncompressed speed(hh:mm)	1:25	1:25	1:25	1:50	3:10	5:30	5:55	9:15	TBA	TBA	TBA	TBA
Compression capable?	Yes, "2:1"					Yes, "2.5:1"			Planned, "2.5:1" ^{[15][17]}			
WORM capable?	No		Yes						Planned			
Encryption capable?	No			Yes					Planned			
Max. number of partitions	1 (no partitioning)				2	4	Planned					

1. ^ Maximum uncompressed speeds valid for full height drives. Half height drives may not attain the same speed. Check manufacturer's specifications.

Applicazioni dei nastri magnetici

Rappresentano il mezzo più diffuso di memorizzazione off-line, tipicamente per gestire il backup nei data center.

Con la diffusione dei dispositivi per la manipolazione automatica dei nastri (detti *robot*) ha permesso di utilizzarli anche come memorie on-line in applicazioni per cui sono accettabili tempi di accesso di qualche secondo/minuto.

Memorie ottiche

Sono diffuse sotto forma di dischi ottici.

Hanno le seguenti caratteristiche:

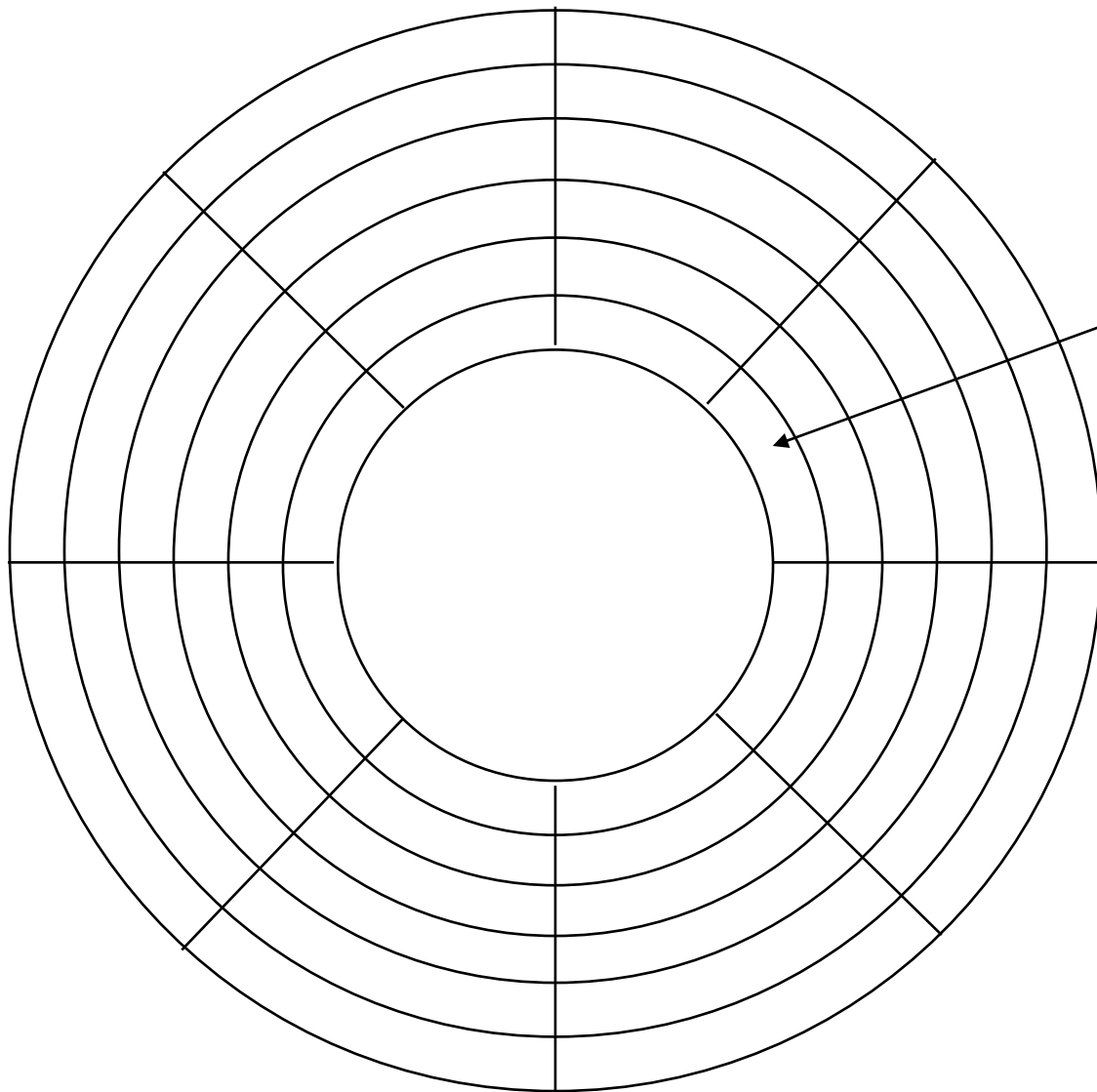
- **capacità intorno ai Gbyte**
- **elevati tempi di accesso (1s)**
- **data transfer rate come negli hard-disk (decine di Mbyte/s)**
- **elevata affidabilità (grazie alla mancanza di parti meccaniche vicine o a contatto, come nei dischi e nastri magnetici).**

Organizzazione

Possono essere adottate due diverse soluzioni :

- **CAV (*Constant Angular Velocity*):** è la soluzione adottata sui dischi magnetici; il disco è organizzato in tracce concentriche, e le tracce esterne hanno minore densità lineare di memorizzazione; ogni settore è accessibile direttamente specificando traccia e numero di settore;
- **CLV (*Constant Linear Velocity*):** è la soluzione adottata per i CD musicali, CD-ROM e DVD; il raggio laser scandisce le fosse/piazzole a velocità lineare costante (con velocità angolare quindi variabile), seguendo una traiettoria a spirale; all'inizio di ogni settore, un identificatore specifica il valore corrente del minuto/secondo/blocco; l'accesso casuale è più laborioso.

CAV



Traccia 0, Settore 0



CLV

Valori tipici per un CR-ROM:

- distanza tra le tracce: $1,6 \mu\text{m}$
- raggio utile: $32,55 \text{ mm}$
- numero di spire: 20344
- lunghezza totale della traccia: $5,27 \text{ Km}$
- velocità: $1,2 \text{ m/sec}$
- tempo per percorrere l'intera traccia: $4391 \text{ sec} = 73,2 \text{ min}$
- densità di memorizzazione: $176,4 \text{ Kbyte/sec}$
- capacità totale: 774.57 Mbyte .

Tipologie di dischi ottici

- **CD**
- **CD-ROM**
- **WORM**
- **CD-RW**
- **DVD**

Differiscono per

- **Capacità**
- **Alterabilità**
- **Meccanismo di funzionamento.**

CD

Sono dischi non cancellabili che memorizzano informazioni audio.

Lo standard prevede dischi da 12 cm che possono memorizzare circa 60 minuti di registrazione sonora.

CD-ROM

Sono dischi ottici non cancellabili per la memorizzazione di informazioni in forma elettronica.

Lo standard prevede dischi da 12 cm che contengono oltre 550 Mbyte.

I dati sono organizzati in una sola traccia a spirale.

Lungo la traccia sono incise *fosse* (pits) e *piazzole* (lands) aventi circa $0,6\mu\text{m}$ di diametro, che memorizzano l'informazione binaria.

Un raggio laser percorre le tracce: a seconda che incontri una fossa o una piazzola esso viene riflesso in modo diverso, permettendo ad un rivelatore di rigenerare l'informazione memorizzata.

CD-Rewritable (CD-RW)

Furono lanciati da Philips e Sony nel 1997.

Possono essere riscritti un numero arbitrario di volte.

Il loro funzionamento si basa su una combinazione di argento, indio, antimonio e tellurio. Questa miscela ha le seguenti proprietà

- quando viene riscaldata ad una certa temperatura (200°) e poi raffreddata, diventa cristallina**
- quando invece viene riscaldata ad una temperatura più elevata (500°-700°) e poi raffreddata, diventa amorfa**
- quando un raggio laser illumina una parte di disco resa cristallina, il sottostante strato metallico lo riflette; quando invece illumina una parte amorfa, viene assorbito.**

Velocità di accesso

Per i driver in grado di scrivere un CD-R o CD-RW viene normalmente indicata da 3 numeri, che indicano (rispetto ad un'unità base pari a 150 KB/s)

- la velocità di scrittura
- la velocità di riscrittura
- la velocità di lettura.

Esempio

12x2x24

DVD (Digital Video Disk)



È il risultato di un accordo del 1996 tra 11 produttori.

Ha 4 formati:

- **SD-5: single-sided/single-layered disc, storage capacity di 4.7 GB**
- **SD-9: single-sided/dual-layered disc, storage capacity di 8.5 GB**
- **SD-10: dual-sided/single-layered disc, storage capacity di 9.4 GB**
- **SD-18: a dual-sided/dual-layered disc, storage capacity di 17 GB.**

Il tempo per leggere un'intera traccia è di 135 minuti.

È attualmente utilizzato principalmente per la memorizzazione di contenuti video.

DVD: formati

I formati previsti sono:

- **DVD-ROM:** memorizzazione di grandi quantità di dati
- **DVD-Video:** video
- **DVD-Audio:** audio
- **DVD-R:** scrivibile una sola volta
- **DVD-RAM**, cui si sono poi affiancati i formati **DVD-RW** e **DVD+RW**.

DVD e CD-ROM

	DVD	CD-ROM
Diametro del disco	120 mm	120 mm
Spessore del disco	1,2 mm (0.6 mm x 2)	1,2 mm
Numero di superfici	1 o 2	1
Numero di strati	1 o 2	1
Diametro del buco centrale	15 mm	15 mm
Dimensione min. piazzole	0,4 μm	0,834 μm
Distanza tra le tracce	0,74 μm	1,6 μm
Velocità media di trasf.	4,7 Mbytes/sec	0,15 Mbytes/sec
Capacità (1 strato, 1 sup.)	5 Gbytes	0,682 Gbytes
Capacità (2 strati, 2 sup.)	17 Gbytes	-

Blue-ray Disk (BD)

Sono il formato utilizzato per memorizzare dati e video ad alta definizione.

Usa un raggio laser con lunghezza d'onda diversa da quella dei DVD (405 nm anzichè 650 nm).

Nella versione più capiente può memorizzare fino a 200 GB.

