

L'EVOLUZIONE DELLE MEMORIE PERIFERICHE

L'avvento delle LAN ha favorito lo sviluppo di tecnologie come NAS e SAN con le quali, attraverso diversi strati hardware e software, possono essere interconnessi più dispositivi per formare un unico complesso di memoria. Si ottengono così sistemi altamente affidabili, con elevate prestazioni, facilmente gestibili e a costi ragionevoli. Per la tecnologia di registrazione magnetica continua il processo di miniaturizzazione, mentre, in prospettiva, si profilano nuove tecnologie, come le memorie olografiche.

1. LA CRESCITA DELLE INFORMAZIONI

Secundo uno studio della *School of Information Management and Systems* della University of California di Berkeley [1], dal 1999 al 2002 la produzione mondiale di informazioni è cresciuta del 30%.

Le nuove informazioni prodotte nel corso del solo anno 2002 sono equivalenti a mezzo milione di nuove biblioteche, ognuna contenente una versione digitalizzata dell'intera *Library of Congress* degli USA.

Stampa, pellicola, carta, supporti magnetici e ottici contengono oggi circa 5 Ebyte, ossia cinque miliardi di miliardi di byte, di nuova informazione, di cui il 92% immagazzinato su supporto magnetico, il 7% su pellicola, lo 0.002% su supporto ottico e, infine, lo 0.015% su supporto cartaceo.

Analizzando con attenzione i dati della ricerca si può individuare la reale natura di una simile esplosione di informazioni. Mentre i flussi e gli aggregati tradizionali di dati crescono a tassi contenuti quella che letteralmente esplose è la nuova informazione memorizzata

sui supporti informatici. In sostanza è il settore dell'informatica il principale attore di questa crescita di nuova informazione dal momento che la televisione e la radio crescono ormai in modo asintotico, i giornali a loro volta aumentano solo grazie al contributo dei paesi emergenti e, infine, la carta cresce solo per la produzione di documenti d'ufficio.

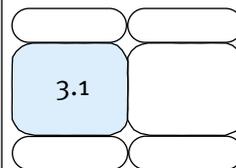
La ricerca indica anche un decremento significativo, a partire dal 1999, nell'uso della pellicola in ambito fotografico a fronte di un rapido sviluppo sul mercato delle fotocamere digitali. Lo stesso fenomeno sta avvenendo nel cinema, sempre più incline a sfruttare la tecnologia digitale, anche per i minori costi di realizzazione dei film.

L'unico segmento che per ora sembra rimanere fedele alla pellicola tradizionale è quello medico, in cui lo sviluppo di radiografie registra una crescita del 16%.

La crescita di nuove informazioni immagazzinate su supporto magnetico, a partire dal 1999, è stata pari all'80%. Grazie ai costi decrescenti e alla crescente varietà di standard e di dimensioni, i dispositivi di memo-



Ernesto Hofmann



ria ad accesso diretto, ossia i dischi magnetici, sono diventati il segmento a più rapida crescita.

I dispositivi ottici rappresentano il supporto più utilizzato per la distribuzione di software, dati, film e musica, come anche di altri tipi di informazioni digitali.

Il declino nella produzione e vendita dei CD tradizionali è stato controbilanciato dalla crescente diffusione dei CD riscrivibili e soprattutto dei DVD, che hanno conquistato quote di mercato ad un ritmo ancor più veloce delle tecnologie precedenti.

Tuttavia, c'è un nuovo fenomeno che darà probabilmente un ulteriore impulso alla continua crescita dell'informazione digitale.

Infatti, in un futuro abbastanza prossimo, qualunque entità avrà valore sarà interconnessa con qualche altra entità in un'infrastruttura che ormai sempre più spesso viene denominata l'"Internet delle cose".

Una prima evidenza di questa straordinaria trasformazione si avrà in tempi abbastanza brevi nell'ambito dell'industria della distribuzione.

I cosiddetti RFID tag (identificatori a radiofrequenza) possono, in modo analogo ai codici a barre, essere apposti o inseriti in oggetti per essere successivamente letti o aggiornati da un sistema informativo, senza intervento diretto di una persona, per mezzo di un'antenna opportunamente posizionata.

Per identificare univocamente i prodotti lungo la catena di distribuzione occorre peraltro un'infrastruttura standardizzata. Ciò viene reso possibile dall'adozione dell'*Electronic Product Code* (EPC), che è in sostanza un'evoluzione dell'*Universal Product Code* utilizzato nel codice a barre.

L'EPC è un codice costituito da un'etichetta virtuale che identifica il costruttore, la classe di prodotto e il numero di serie. In funzione del tipo di tag l'EPC può riconoscere fino a 268 milioni di costruttori diversi, ciascuno con 16 milioni di prodotti. Ogni prodotto, a sua volta, può contenere fino a 68 miliardi di unità. Siamo quindi nell'ordine di migliaia di miliardi di unità di prodotto identificabili nell'ambito dell'infrastruttura EPC.

Se si moltiplicano tali numeri per le quantità dei singoli prodotti, diventa intuibile quanto grande possa diventare l'ulteriore informa-

zione digitale generata da un'infrastruttura RFID operativa su larga scala.

2. DAL COMPUTER ALLE UNITÀ PERIFERICHE

La storia dei supporti per la memorizzazione dei dati informatici ha avuto inizio con la nascita stessa del computer, sia all'interno del computer (memoria centrale) sia all'esterno, per mezzo di opportuni dispositivi elettromeccanici collegati col computer. Il primo supporto di memoria esterna è stato la carta. I programmi e i dati erano registrati sotto forma di aree intatte (zero) o perforate (uno) su opportune schede di cartoncino, divise in ottanta colonne, del formato di un dollaro. Ma già intorno al 1950 è avvenuta una prima grande rivoluzione con l'introduzione dei nastri magnetici, già utilizzati per le applicazioni audio. Uno dei maggiori vincoli strutturali dei nastri era la lettura sequenziale che imponeva di scorrere meccanicamente il nastro stesso per raggiungere l'informazione desiderata, con evidente degrado delle prestazioni nell'accesso alle informazioni. Tuttavia i nastri magnetici rappresentano comunque un'importante tecnologia per l'archiviazione delle informazioni, soprattutto nelle medie e grandi imprese. Il vero "breakthrough" tecnologico nella memorizzazione delle informazioni digitali su supporto esterno al computer è stato però la creazione nel 1955 del cosiddetto *Hard Disk Drive*, ovvero HDD, spesso anche denominato DASD (*Direct Access Storage Device*). I progettisti avevano compreso, infatti, che fosse possibile realizzare una testina di lettura elettromagnetica, sospesa sopra un piatto di alluminio rotante ad alta velocità, in grado di leggere le informazioni che scorrevano rapidamente sotto la testina stessa. Il punto chiave della scoperta era che la testina non doveva essere a contatto con il piatto, che poteva ruotare ad alta velocità e consentire quindi di raggiungere l'informazione desiderata "quasi direttamente", a differenza dei nastri [2]. Il primo HDD prodotto è stato il 305 RAMAC (*Random Access Method of Accounting and Control*) dell'IBM, annunciato il 13 settembre del 1956. Tale dispositivo poteva memorizzare 5 milioni di caratteri (circa cinque megabyte, ma un

“carattere” era costituito allora da sette bit su 50 grandi dischi, ciascuno di 24 pollici (circa 60 cm) di diametro. La densità di registrazione era di circa 2000 bit/pollice² (ossia 310 bit/cm²). I dispositivi a dischi attuali hanno densità dell'ordine di miliardi di bit per centimetro quadrato. La velocità di trasferimento dei dati era comunque già molto elevata: 8.800 byte/s.

Negli anni successivi la tecnologia è progressivamente migliorata, sia nella densità di registrazione, sia nella capacità di memorizzazione complessiva, sia infine nei tempi di accesso alle singole unità di registrazione (i cosiddetti *record*). Nel 1962 ancora l'IBM annuncia il modello 1301 *Advanced Disk File*. L'aspetto tecnico più significativo di questo nuovo dispositivo era la possibilità di inserire un vero e proprio “cuscinetto di aria” tra testina di lettura e piatto rotante tale che la distanza tra i due si poteva ridurre da 800 a 250 μ m (micropollici), ossia da circa due centesimi di millimetro a circa sei millesimi di millimetro.

Nel 1973, infine, l'IBM annunciava il *Disk Drive* modello 3340, che è oggi considerato il progenitore dei moderni dischi. Questo dispositivo era costituito da due dischi separati, uno permanente e uno rimovibile, ciascuno con una capacità di memorizzazione di 30 Mbyte. Per questo motivo fu colloquialmente denominato 30-30; e poiché anche un modello del famoso fucile Winchester era denominato 30-30, il disco venne da allora chiamato anch'esso Winchester. Utilizzando evolute tecniche di isolamento dalle impurità dell'aria esterna e nuove tecniche micromeccaniche fu possibile ridurre “l'altezza di volo” delle testine a soli 12 μ m (micropollici), ossia a circa tre decimillesimi di millimetro.

3. LE MEMORIE DI MASSA E IL RUOLO DEGLI HDD

L'insieme dei dispositivi esterni di memoria, genericamente denominato memorie di massa, si compone approssimativamente di tre grandi famiglie di dispositivi.

■ **Nastri magnetici:** sono soprattutto utilizzati nei centri medio-grandi di elaborazione per creare periodicamente copie (*backup*) del contenuto degli HDD, in modo da poter recuperare i dati in caso di malfunzionamenti di

varia natura. Le operazioni di backup sono però abbastanza lente (anche alcune ore) e vengono in generale effettuate di notte.

I nastri magnetici sui quali vengono trascritte le informazioni hanno una vita media di 10-30 anni (mentre i microfilm si suppone che possano durare anche fino a 300 anni). In realtà per i nastri, come per altri supporti di memorizzazione dei dati, si è constatato che i dispositivi di lettura/scrittura si sono evoluti molto prima che i nastri stessi si deteriorassero. Anche nell'elettronica per uso domestico si assiste alla continua scomparsa di supporti come dischi 78 giri, 33 giri, nastri VHS, DAT, e altri ancora, a fronte di nuove tecnologie.

■ **Dischi ottici:** sono dischi su cui la memorizzazione dei dati avviene “bruciando” con un laser una sezione di superficie, che da lucida diventa opaca. In generale i dati scritti su di un disco ottico non possono più essere cancellati. Esistono tuttavia dei dischi particolari (CD-DVD riscrivibili) che consentono la cancellazione e la riscrittura per un numero comunque limitato di volte (ad ogni cancellazione la superficie tende a deteriorarsi sempre di più finché non diventa inutilizzabile). I DVD (*Digital Versatile Disk*) sono apparentemente molto simili ai CD, ma possono contenere fino a 25 volte la capacità di un normale CD e vengono usati soprattutto per memorizzare i film in formato digitale. I dischi ottici come CD, DVD, DVD/R, DVD/RW, hanno finora utilizzato per leggere (e scrivere) una tecnologia laser con una frequenza nello spettro del rosso. Tuttavia sono già pronti nuovi dischi ottici denominati Blu-ray proprio perché utilizzano il laser nella frequenza blu-violetto. I nuovi dispositivi di lettura potranno anche leggere dischi CD e DVD tradizionali. Il beneficio di utilizzare una lunghezza d'onda di 405 nm invece di 650 nm consente di scrivere un maggior numero di informazioni per unità di superficie. Nella tabella 1 vengono riportati i parametri più significativi delle tre tecnologie CD, DVD e Blu-ray.

Poiché il disco viene letto da un laser, non c'è contatto fisico tra supporto e lettore, e dunque la frequenza e la quantità delle riproduzioni non incide sulla qualità del contenuto. Una volta registrati su DVD, i dati non potranno più essere cancellati accidentalmente né subire alterazioni dannose. La vita media dei CD e

Tecnologia	CD	DVD	Blu-ray
Laser	780 nm	650 nm	405 nm
Numero di facce utili	1	1/2	1/2
Capacità massima	750 Mbyte	9.4 o 17 Gbyte	da 25 a 120 Gbyte

TABELLA 1

DVD di tipo R (sola lettura) si colloca tra 25 e 250 anni, con un valore medio di circa 100 anni. I DVD-RW hanno invece una vita più breve, dell'ordine di 25-100 anni con un valore medio di 50. Sono in atto continue ricerche per migliorare la resistenza dei materiali, per evitare l'ossidazione delle parti di superficie danneggiata da agenti come urti, sostanze chimiche e anche sbalzi termici. È stato osservato che mantenere CD e DVD costantemente al di sotto di 30° e al disotto dell'80% di umidità può raddoppiarne la vita media. I costruttori di dispositivi di lettura/scrittura sono peraltro attenti anche ad un altro parametro molto importante che riguarda il "drive", ossia il supporto rotante che sostiene il CD-DVD e che, proprio per avere organi meccanici in movimento, ha una vita media più breve. Un tipico valore che viene dichiarato per l'unità "drive" è un MTBF di 100.000 h di power on. Si vedrà meglio più avanti come debba intendersi il parametro MTBF (*Mean Time Between Failures*) che da solo può indurre in errori di valutazione. Essendo un anno costituito di poco meno di 8.800 h si potrebbe immaginare un utilizzo continuo di oltre dieci anni. In realtà è più realistico pensare ad un utilizzo a pieno tempo di un anno, che è in genere proprio la garanzia che viene fornita. I dispositivi di memoria ottica sono di particolare interesse. Se, infatti, si ignora la possibilità del disco ottico di essere rimosso dal suo supporto, il disco ottico sembrerebbe in ogni aspetto inferiore al disco magnetico. Ma se si considerano applicazioni che richiedono la distribuzione di programmi o dati si comprende allora come questa tecnologia possa diventare attraente. Essa quindi mantiene una notevole quota di mercato per la distribuzione di audio preregistrati e soprattutto per la distribuzione di film. La memorizzazione ottica resta tuttavia più costosa della memorizzazione su dischi magnetici in caso di grandi volumi e le sue prestazioni (unite al costo unitario) per l'accesso al singolo elemento di

informazioni (record) non la mettono in grado di competere con le memorie magnetiche.

■ **Dischi magnetici:** sono dischi sui quali la memorizzazione dei dati avviene magnetizzando la superficie, tramite un'apposita testina di lettura/scrittura. Sullo stesso disco i dati possono essere scritti, cancellati e riscritti per un numero indefinito di volte senza logorarne la superficie di registrazione.

Le memorie di tipo HDD (*Hard Disk Drive*) sono di gran lunga i dispositivi più importanti nell'attuale gerarchia di memoria della moderna informatica, come viene messo in evidenza dalla crescente quantità di investimenti in questa tecnologia da parte di imprese di ogni dimensione. Le caratteristiche più importanti degli HDD sono il costo per Mbyte, la velocità di trasferimento e il tempo di accesso alla singola informazione (al *record*).

Poiché il costo di questo tipo di memoria è tuttora decisamente inferiore a quello delle memorie statiche (RAM) su microchip, gli utenti sono disposti ad accettarne anche gli aspetti meno attraenti, come un tempo di accesso meno veloce rispetto alle memorie statiche centrali, un più elevato consumo di corrente elettrica, il rumore di fondo tipico delle unità meccaniche (dischi che ruotano), e infine l'intrinseca minore affidabilità dei componenti elettromeccanici rispetto a quelli puramente elettronici, come appunto i chip di memoria. D'altro canto gli HDD sono una tecnologia "non volatile", ossia non richiedono corrente elettrica per mantenere nel tempo l'informazione registrata, e ciò costituisce un elemento di particolare importanza nell'economia della conservazione dei dati di un'impresa.

4. LA STRUTTURA DEGLI HDD

L'HDD è costituito da una serie di "piatti", disposti l'uno sopra l'altro e fissati allo stesso perno centrale che li fa ruotare ad altissima

velocità (fino a 10.000 giri il minuto e oltre). I singoli bit (0 e 1) che compongono l'informazione digitale vengono memorizzati nello speciale materiale magnetico (sotto forma delle due direzioni del campo magnetico) di cui è costituita la superficie del piatto.

Le operazioni di lettura e di scrittura sono eseguite da una testina elettromagnetica che è sospesa sulla superficie magnetica del piatto in rotazione (generalmente realizzato in alluminio), senza mai toccarla così da non rovinare lo strato magnetico di registrazione. Ciascun piatto dispone di una testina per faccia. Le testine sono tutte fissate sul medesimo supporto, e si muovono quindi tutte insieme. L'involucro di un disco è realizzato in due parti che sono, rispettivamente, il basamento che ospita l'elettronica e tutte le parti meccaniche, e il coperchio che concorre alla dissipazione del calore.

Attraverso una speciale valvola dotata di opportuni filtri, l'aria all'interno dell'unità viene mantenuta priva di polvere e la valvola stessa fa sì che la pressione interna sia in equilibrio con quella esterna.

L'organizzazione logica delle due superfici di registrazione di ciascun piatto consiste in una struttura costituita da cerchi concentrici ("tracce") che hanno origine nel perno centrale del piatto e settori derivati dall'intersezione delle tracce con i raggi del piatto stesso.

La densità areale indica la quantità di bit che possono essere memorizzati su di una specifica unità di area e viene espressa di solito come bit per pollice quadrato (BPSI: *Bits Per Square Inch*).

Essendo una misura bidimensionale, la densità areale è il prodotto di due unità di misura unidimensionali che sono:

■ **la densità delle tracce**, che è una misura di quanto siano disposte densamente le tracce concentriche attraverso i raggi dei piatti, ossia quante tracce possono essere disposte concentricamente lungo un pollice di raggio. Tuttavia non potranno essere utilizzate tracce troppo vicine al perno centrale di rotazione, così come non potranno essere usate tracce troppo vicine alla circonferenza del piatto. Se, per esempio, il raggio del disco è di 1,87 pollici se ne potranno ragionevolmente utilizzare 1,2 pollici. Quindi, se lo spazio utile del disco è costituito di 22.000 tracce si

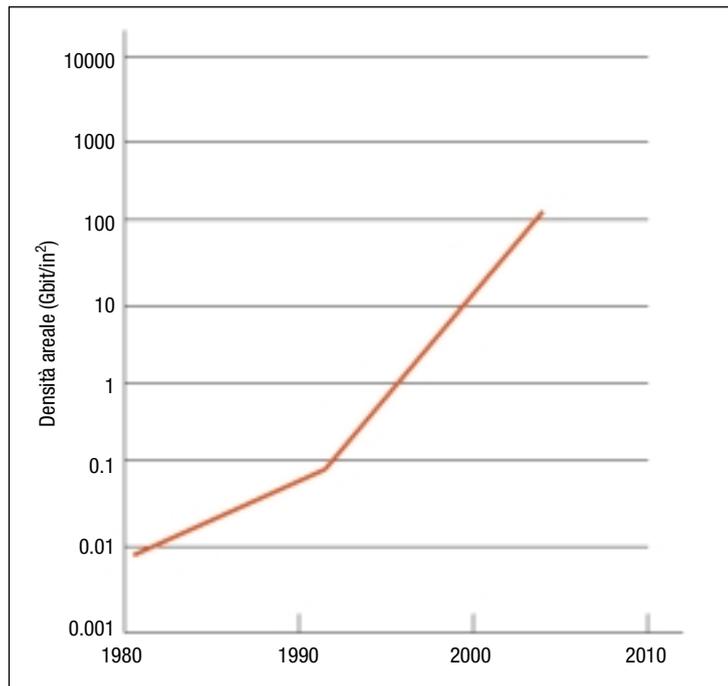


FIGURA 1

Aumento della densità di registrazione degli HDD negli ultimi 20 anni

può concludere che ci saranno circa 18.333 tracce per pollice (22.000 : 1,2).

■ **la densità lineare di registrazione**, che è una misura di quanto densamente siano registrati i bit lungo una traccia. Se lungo un pollice di traccia è possibile registrare 300.000 bit allora la densità BPI sarà appunto 300.000. Poiché le tracce sono disposte concentricamente, esse sono di lunghezza diversa e quindi non ogni traccia verrà scritta con la stessa densità. I costruttori indicano di solito quale sia la massima densità possibile di registrazione.

Moltiplicando quindi i due fattori (densità delle tracce e densità di registrazione per traccia) si ottiene la densità areale. Nell'esempio considerato, con i valori di 18.333 tracce per pollice e 300.000 BPI, si ottiene una densità areale di 5.500.000.000 bit per pollice quadrato, ossia 5.5 Gbits/in². I dischi più recenti hanno valori superiori di circa un ordine di grandezza, mentre i primi HDD dei Personal Computer avevano densità areali molto basse, dell'ordine di 0.004 Gbits/in² (Figura 1).

Sui dischi non è possibile accedere ad una singola informazione, occorre leggere o scrivere un intero settore. Per esempio, per modificare un singolo byte, è necessario leggere il settore che lo contiene, modificare il byte in

memoria e riscrivere il settore. I tempi di accesso all'informazione sono tipicamente dell'ordine di alcuni millisecondi. L'accesso ai dischi è in parte "diretto" (posizionamento della testina sulla traccia), in parte "sequenziale" (lettura/scrittura del settore).

Due parametri caratteristici dell'HDD sono, rispettivamente, il tempo di posizionamento (*seek time*) e il tempo di latenza (*latency*). Il primo è il tempo necessario perché la testina raggiunga la traccia su cui si trova l'informazione da leggere/scrivere, ed è proporzionale sia al numero di tracce attraversate sia alla velocità (meccanica) di spostamento. Il secondo è invece il tempo impiegato perché, nella rotazione del disco, il settore cercato giunga in corrispondenza della testina di lettura ed è inversamente proporzionale alla velocità di rotazione del disco.

Il cosiddetto "tempo di accesso" è la somma del tempo di posizionamento e della latenza.

5. L'EVOLUZIONE DEGLI HDD

Se il numero di transistor disponibili per unità di area raddoppia, secondo la legge di Moore, circa ogni due anni, il numero di bit memorizzati per unità di area HDD raddoppia circa ogni anno.

La densità di registrazione dei bit degli HDD è

così migliorata, in pochi decenni, di ben sette ordini di grandezza e ciò ha consentito di ridurre fortemente anche lo spazio complessivo occupato dagli HDD.

Ai dispositivi HDD sono stati poi aggiunti nel tempo, ulteriori strati sia di hardware che di software.

I primi HDD erano direttamente controllati dal computer cui erano connessi; ma già a partire dal 1965 apparvero nuovi dispositivi, denominati unità di controllo, che si interponavano tra il computer e gli HDD e offrivano funzionalità più evolute.

Il vantaggio principale di tali unità era costituito dal fatto che i comandi di lettura/scrittura provenienti dal computer venivano gestiti dalle unità di controllo così che gli HDD fossero in grado di operare in modo asincrono rispetto alle attività dell'unità centrale. Quest'ultima poteva perciò eseguire altre istruzioni (di altri programmi), dando luogo al meccanismo della multiprogrammazione che, a sua volta, avrebbe richiesto più raffinati sistemi operativi.

Nel corso del tempo cresceva l'enfasi sulla disponibilità dei dati e le unità di controllo cominciavano anche a supportare percorsi multipli per lo scambio di comandi, interruzioni e dati con l'unità centrale.

Poco alla volta, l'insieme degli HDD di un computer è diventato un'unica entità logico-fisica, ossia un vero e proprio sottosistema di memoria organizzato non solo per memorizzare i dati ma anche per garantirne l'affidabilità, ossia la continua disponibilità e la gestibilità.

Il costo unitario degli HDD è diminuito dal 1980 di cinque ordini di grandezza, mentre il costo dell'intero sottosistema di memoria durante lo stesso periodo è diminuito di 2,5 ordini di grandezza.

La più rapida caduta del costo degli HDD indica che il prezzo dei soli HDD è diventato nel tempo una frazione progressivamente meno importante nell'intero costo del sottosistema di memoria.

La riduzione di costo dei sottosistemi di memoria digitale ha fatto sì che dal 1996 la memorizzazione digitale sia diventata meno costosa della memorizzazione su carta, e dal 1998 anche più economica della tecnologia utilizzata in radiologia per memorizzare su film immagini mediche (Figura 2).

Dal 1990 la tecnologia di memoria ha supera-

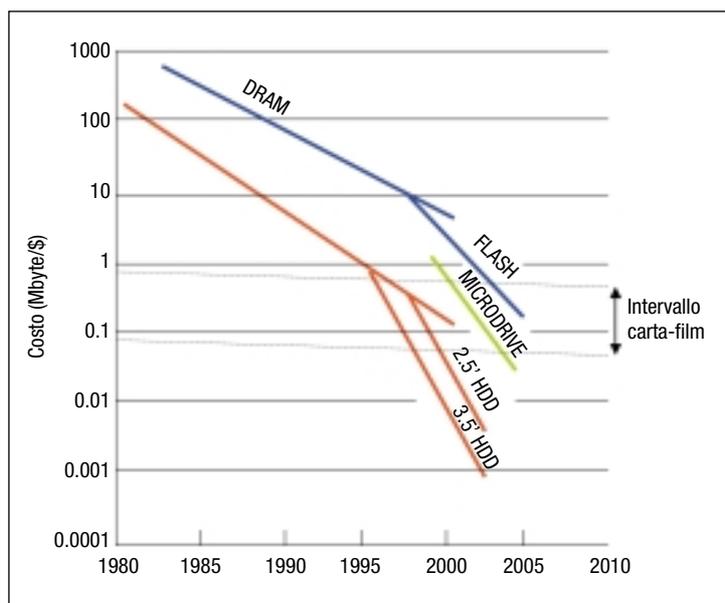


FIGURA 2

La diminuzione del costo degli HDD ha reso questa tecnologia più economica della registrazione su carta e su film

to in termini di costo/prestazioni sia le tecnologie di processore sia quelle di comunicazione (Figura 3). La disponibilità di simili tecnologie di memorizzazione ha quindi fortemente influenzato le architetture informative che vediamo oggi.

Si è così assistito al diffondersi di molteplici copie degli stessi dati, per esempio con memorie di transito, ossia *cache* di vario livello, così come al diffondersi di sistemi di memorizzazione vicini all'utente per evitare i ritardi di rete.

A partire dal 1990 la disponibilità di HDD di minori dimensioni (5,25 pollici e quindi 3,5 pollici) ha favorito una nuova filosofia organizzativa nei sottosistemi di memoria: utilizzare molteplici "piccoli" HDD invece di un minor numero di HDD più massicci.

La tecnologia RAID (*Redundant Array of Independent Disks*), che è alla base di tale evoluzione, permette di effettuare in parallelo diverse operazioni verso molteplici dispositivi HDD, consentendo di ottenere più elevati livelli di affidabilità e di prestazioni rispetto a quelle offerte da una singola unità HDD più grande.

Detto in termini molto semplificati, si può immaginare come gruppi di informazioni possano essere distribuiti in parallelo su veri e propri grappoli di piccoli HDD. L'indisponibilità di uno di questi può essere superata attraverso tecniche di ridondanza che consentono di ricostruire abbastanza facilmente la parte di informazione danneggiata. La tecnologia RAID è stata inizialmente utilizzata in sistemi di minor costo, ma in seguito ha cominciato ad essere utilizzata anche su sistemi di grandi dimensioni, proprio per le intrinseche funzioni di ridondanza (non c'era un "single point of failure") e di possibilità di duplicazione dei dati (copie di backup), funzionalità che consentivano di aumentare notevolmente la disponibilità complessiva delle informazioni.

Il valore per l'utente del sottosistema di memoria si è così progressivamente evoluto verso funzionalità più avanzate e verso l'integrazione di tali funzionalità nel sistema stesso. Attualmente, il costo della gestione del sottosistema di memoria è la parte maggiore del costo complessivo del sistema stesso. Ciò significa che il valore reale per l'utente del sottosistema di memoria risiede nella capacità di quest'ultimo di estendere le sue funziona-

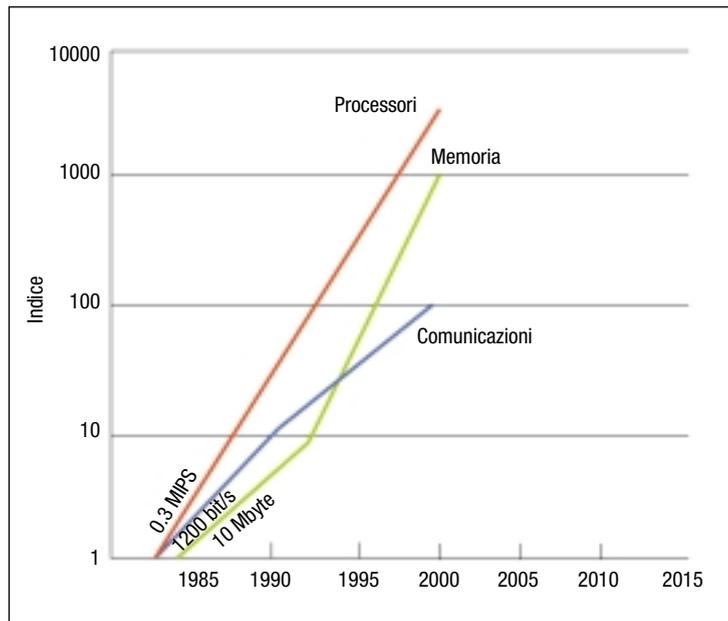


FIGURA 3

Miglioramento del rapporto prezzo-prestazioni delle tecnologie di microprocessore, registrazione e comunicazione

lità oltre a quanto possa fornire il solo dispositivo HDD, e specificamente nella capacità di ridurre i costi di gestione e di fornire una più elevata disponibilità dei dati (per esempio con copie di backup e servizi di replica).

6. LA DISPONIBILITÀ DEI DATI (DATA AVAILABILITY)

Il "disaster recovery", ossia il ripristino delle informazioni digitali a fronte di malfunzionamenti di varia natura, è diventato un requisito fondamentale per tutti i sistemi informatici e ha fortemente influenzato l'architettura dei sottosistemi di memoria. Negli attuali hard disk l'interfaccia testina di lettura-pista da leggere è il punto nel quale più spesso si presentano malfunzionamenti dovuti ad eventi come instabilità termo-meccaniche, urti, danneggiamenti del drive ecc. ed il parametro più comunemente utilizzato per indicare la disponibilità del drive tra due malfunzionamenti è il MTBF (*Mean Time Between Failures*). Intorno al 1990 il MTBF degli HDD era di circa 200.000 h, ma a seguito dei continui miglioramenti tecnologici il valore attuale è pari a circa 1.200.000 h. Tuttavia, il MTBF, considerato a sè, si presta a fraintendimenti, infatti, per essere interpretato correttamente il MTBF deve essere utilizzato

insieme ad un altro parametro, la cosiddetta "useful service life", ossia la vita media utile, che è il tempo tipico superato il quale possono presentarsi guasti dovuti al consumo dei componenti elettro-meccanici. I costruttori di HDD dichiarano attualmente una vita media utile di circa cinque anni. Il MTBF si applica solo a grandi quantità di dispositivi, mentre non dice nulla riguardo alla singola unità. Se per esempio, il MTBF di uno specifico modello di HDD è pari a 500.000 h e la vita media utile è di cinque anni (un anno è equivalente a 8.760 h), purché ogni cinque anni quell'unità venga sostituita essa potrà essere utilizzata per 57 anni, in media, prima che presenti un guasto ($500.000 : 8.760 = 57$).

Per proteggere i dati sono quindi necessarie ulteriori possibilità, che possono essere costituite da soluzioni *ad hoc* che consentano di creare manualmente occasionali copie di salvataggio su nastro, ma anche da vere e proprie tecnologie hw/sw che creino automaticamente le copie di salvataggio dei dati. Possono essere eseguite ciclicamente copie "virtuali" dei dati che verranno poi effettivamente trascritte su supporti fisici se reputato necessario, inoltre può anche essere utilizzata una tecnica di copiatura continua (*mirroring*), con la quale vengono costantemente mantenute due copie degli stessi dati, una primaria (locale) e una secondaria (in un altro sito). Quest'ultima metodologia è in generale sincrona, ossia la copia del sistema secondario deve essere scritta prima che l'operazione sul sistema locale venga considerata conclusa. Benché le operazioni sincrone siano desiderabili dal punto di vista dell'affidabilità dei dati, esse hanno tuttavia validità pratica solo nell'ambito di opportune distanze (dell'ordine del centinaio di km) tra il centro primario e quello secondario.

La metodologia di backup più comune è stata per molto tempo quella di effettuare una copia su nastro, o nel caso di personal computer su CD, dei dati ritenuti importanti.

Tuttavia, quando le memorie periferiche (soprattutto gli HDD) hanno iniziato ad essere interconnesse in sistemi di backup basati su LAN, questi ultimi hanno progressivamente rimpiazzato le metodologie manuali e sempre più spesso hanno consentito di eseguire copie automatiche di backup da HDD ad HDD.

I sistemi di backup non sono, in generale, sistemi semplici perché devono trattare molti tipi diversi di dati, a loro volta di differente importanza ed utilizzati da un'ampia varietà di utenti. Spesso, poi, i livelli di sicurezza necessari per tali dati possono essere al di là delle intrinseche possibilità tecnologiche dei dispositivi sui quali vengono memorizzati. Benché il puro costo della memoria HDD stia diminuendo, gli altri tipi di dispositivi di memorizzazione, come nastri e dischi ottici, rimangono importanti e occorre quindi un sistema che possa intelligentemente gestire i vari livelli tecnologici di memoria.

7. DALLE LAN ALLE SAN

L'emergere delle tecnologie LAN (*Local Area Network*), a basso costo, ha determinato la tendenza più significativa dei sottosistemi di memoria a partire dal 1988. In molti uffici i PC sono stati interconnessi in rete ed è emerso il modello *client-server*.

Tuttavia, mentre molte applicazioni sono migrate dai centri di elaborazione ai PC, i dati hanno spesso mantenuto rilevanza aziendale, piuttosto che individuale, e hanno quindi avuto bisogno di essere protetti e condivisi tra gli utenti.

Il PC era notoriamente inaffidabile e non gestito come i grandi computer, quindi, per ottenere la condivisione dei dati tra utenti diversi occorre la disponibilità di sistemi di memorizzazione locale (per esempio in un ufficio) condivisibili, a loro volta, da molteplici PC. Questi sistemi di memorizzazione erano più importanti (*mission critical*) dei singoli PC client, ed era naturale quindi che diventassero i primi candidati per tecnologie come *file-serving*, RAID, e sistemi di backup basati su LAN.

Il software utilizzato per l'interconnessione (*networking*) dei PC era spesso il Novell NetWare, così come altri software di PC vendor. Allo stesso tempo si affermava anche lo UNIX, sia nelle cosiddette workstation, che erano sostanzialmente dei PC molto più potenti, sia nei server.

L'ampia disponibilità di protocolli di condivisione dei dati come l'*NFS (Network File System)* dava un ulteriore impulso all'utilizzo di simili server.

Il passo successivo è stato l'avvento dei siste-

mi NAS (*Network-Attached Storage*) che offrivano le capacità di Network File System in un'unica macchina, la quale poteva gestire vari protocolli software come il CIFS (*Common Internet File System*), l'HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), e l'FTP (*File Transfer Protocol*). I sistemi NAS erano semplici da installare perché venivano già forniti con funzioni di utilità e funzioni di gestione.

Allo stesso tempo, i responsabili dei sistemi informativi cercavano di "riconquistare il controllo" del patrimonio informatico distribuito tra i vari uffici e dipartimenti. Le funzioni di gestione dei dati venivano perciò progressivamente rimosse dai sistemi client e venivano create funzionalità globali di gestione per "mapping, sharing, and free-space management" di tutti i dispositivi di memoria connessi.

Il centro elaborazione dati ha così progressivamente riacquisito grande importanza e si è compreso che sarebbe stato molto utile se i molteplici server che ne facevano parte avessero potuto accedere ad un sottosistema di memoria complessivo, e non ciascuno a gruppi separati di dispositivi periferici di memoria.

Sono quindi nate le SAN (*Storage Area Network*)

che, potendo essere progettate e sviluppate indipendentemente dai server, permettevano la condivisione (*pooling*) delle risorse di memoria (configurate staticamente) e offrivano una maggiore efficienza e minori rischi per gli utenti. Gli investimenti nelle SAN non dipendevano da un particolare server o da una particolare scelta di software. La tecnologia SAN ha introdotto nuove possibilità nella semplificazione delle connessioni, nella capacità di crescita (*scalability*), nei costi e nelle tecniche di gestione delle memorie di massa. A sua volta, la fibra ottica è diventata la tecnologia predominante di interconnessione. Ragionando in termini essenzialmente intuitivi, si possono distinguere le NAS dalle SAN tenendo presente che le prime lavorano, quasi tradizionalmente, con file e protocolli di accesso ai file (CIFS, HTTP, FTP), mentre le seconde utilizzano propri blocchi di dati che possono essere memorizzati, ove necessario, nella gerarchia dei dispositivi di cui la SAN è costituita (Figura 4 e Figura 5).

La progressiva diffusione delle LAN Ethernet e del TCP/IP ha anche influenzato l'evoluzione delle SAN. Infatti, l'unificazione del networking con il TCP/IP e con Ethernet ha consentito una migliore standardizzazione

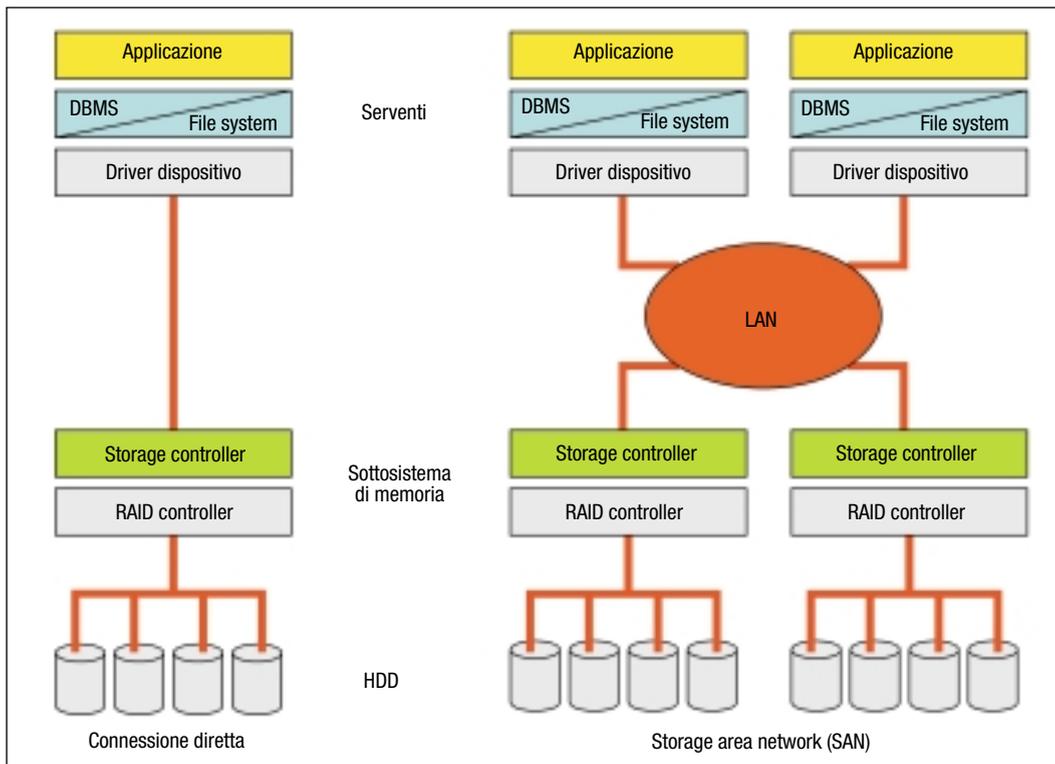
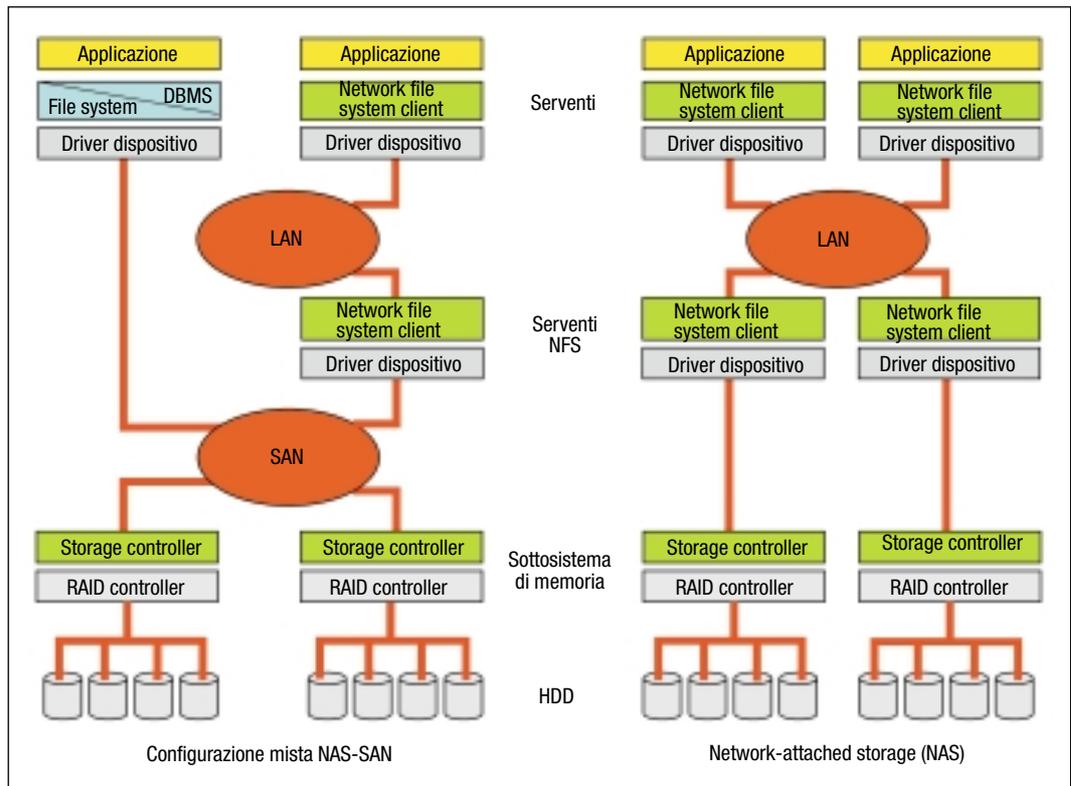


FIGURA 4
Trasmissione dei dati tra computer e HDD nel modello ad accesso diretto e in quello SAN

FIGURA 5
Trasmissione dei dati tra computer e HDD nel modello NAS e in quello misto SAN-NAS



dei sottosistemi di memoria, un crescente ritmo di innovazione e più bassi costi sia nell'hardware sia nel software sia, infine, nel supporto ai dispositivi di memoria.

È stato così possibile ridurre i costi di gestione, poiché gli operatori devono conoscere un solo tipo di rete. Inoltre, nell'ambito dei computer più piccoli, lo standard iSCSI (*Internet Small Computer System Interface*) è stato introdotto per consentire al protocollo SCSI di essere trasportato attraverso la rete TCP/IP. L'architettura delle SAN, che prevede una sostanziale condivisione di dati e spazi disponibili tra computer diversi, è in un certo senso antitetica all'originale progetto dei computer della terza e della quarta generazione sui quali si sono evoluti i maggiori sistemi operativi e i relativi sottosistemi di gestione dei dati.

L'obiettivo di progetto di tali computer prevedeva che questi fossero i soli ad accedere ai dati memorizzati sui dispositivi periferici e non erano stati progettati per condividere dati o spazio su disco con altri computer.

Le SAN hanno aggirato il problema togliendo ai computer il controllo esclusivo delle memorie di massa accessibili creando un'infra-

struttura hardware-software globale in grado di gestire il "mapping", lo "sharing" e la gestione dello spazio libero di memoria su tutti i dispositivi contemporaneamente connessi ai diversi computer del centro di elaborazione dati.

Oltre alla semplificazione nella configurazione e nella gestione dello spazio libero, nuove possibilità sono via via venute ad aggiungersi, come la condivisione dei dati, il cosiddetto "non disruptive change" e l'automazione di molte funzioni di gestione.

Poiché la gestione dei cosiddetti metadati è sotto il controllo di un "metadata server" nuove capacità vengono rese possibili e viene introdotto un più ampio spettro di servizi che semplifica la gestione e migliora la disponibilità dei dati. Per esempio politiche associate a specifici gruppi di dati determinano come questi ultimi debbano essere gestiti in termini di prestazioni, disponibilità, sicurezza e costi [3, 4].

C'è inoltre l'esigenza di estendere geograficamente l'utilizzo dell'architettura SAN. Soluzioni SAN per mezzo della fibra ottica possono ora estendersi per oltre 100 km per creare delle SAN "metropolitane" utilizzando tecno-

logie trasmissive come la DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*); ma è possibile anche un'estensione geografica più ampia che, per mezzo del protocollo IP e la fibra ottica, utilizzi la tecnologia WAN per creare una vera e propria "global storage network", come mostrato in maniera molto schematica nella figura 6.

Con la crescita delle SAN e la sempre più ampia diffusione del protocollo IP, i sistemi di memoria basati su reti IP, quali LAN, MAN e WAN, si sono ormai affermati come l'avanguardia dello sviluppo tecnico.

8. UNA ROADMAP TECNOLOGICA

Per i prossimi anni non è previsto alcun rallentamento nella velocità di evoluzione della tecnologia. I problemi attuali sembrano però di natura più complessa rispetto a quelli di qualche anno fa. Essi riguardano la termodinamica dell'energia memorizzata nei bit magnetici, le difficoltà connesse con la distanza testina-piatto, che ormai sono dell'ordine di grandezza di un diametro atomico, e l'intrinseca velocità di commutazione dei materiali magnetici. L'ulteriore miniaturizzazione delle aree di registrazione, ossia il cosiddetto *basic scaling*, è più o meno simile allo *scaling* di qualunque soluzione tridimensionale del campo magnetico (Figura 7). Se le proprietà magnetiche dei materiali restano costanti, la configurazione del campo e le grandezze correlate restano invariate, anche se tutte le dimensioni vengono ridotte di un fattore s , fintanto che anche la corrente venga ridotta di un fattore s .

Pertanto se si vuole incrementare la densità lineare (ossia i bit per traccia) di un fattore 2, e quindi la densità areale di un fattore 4, occorre fare lo *scaling* di tutte le dimensioni per due, lasciare intatta la velocità di rotazione e raddoppiare la velocità di trasferimento dei dati. Se i materiali mantengono le stesse proprietà nelle nuove dimensioni tutto funziona come prima.

Tuttavia, ci sono motivi per i quali nel mondo reale questo semplice *scaling* non funziona. Il primo è che aumentare la velocità di trasferimento dei dati in proporzione alla densità lineare può essere al di là delle possibilità costruttive.

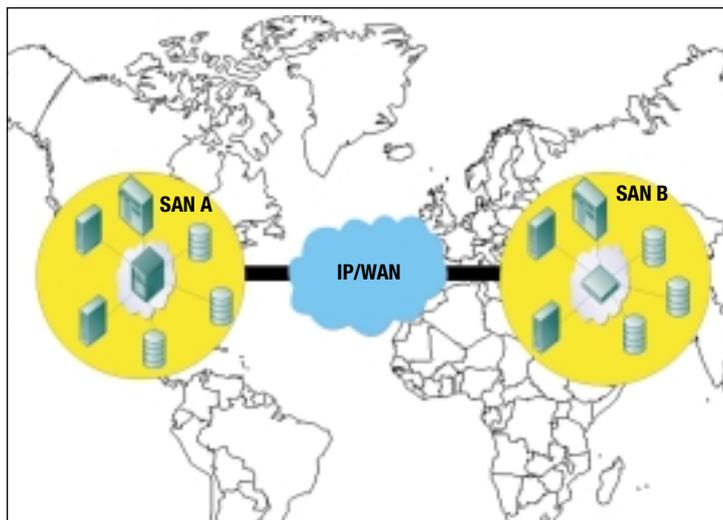


FIGURA 6

Il protocollo IP e la fibra ottica consentono alle SAN di infrangere la barriera della distanza

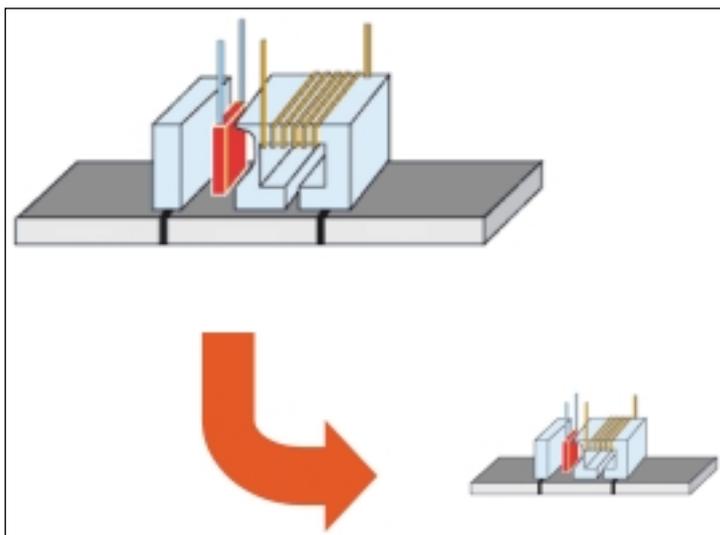


FIGURA 7

Le tre dimensioni in gioco nel processo di miniaturizzazione delle testine di registrazione degli HDD

La seconda ragione è che la forte competizione tra vari costruttori per creare HDD ad alte prestazioni ha costantemente prodotto un incremento di velocità nella rotazione dei dischi (per ridurre la latenza) e ciò ha finito con l'aggravare il problema perché la lettura di un maggior numero di dati a più alta velocità diventa molto più complessa.

C'è poi da considerare che un segnale induttivo di lettura (*readback*) diminuisce con lo *scaling* e il disturbo elettronico cresce con il traffico dei dati (*bandwidth*), tanto che il rap-

ventato, sempre più, l'insieme delle informazioni riguardanti i processi aziendali, siano esse applicazioni software o database di varia natura.

Il sottosistema di memoria è una parte del complessivo sistema informatico, ma svolge ormai un ruolo fondamentale affinché un'organizzazione possa rispondere rapidamente, flessibilmente e a costi molto più bassi alle nuove sfide: la maggior parte delle imprese investirà progressivamente più nella tecnologia "storage" che in quella "server".

Le memorie di massa, peraltro, non sono più un semplice aggregato di dispositivi hardware, ma sono diventate una complessiva entità multifunzionale nella quale molte importanti funzioni sono realizzate con la tecnologia software.

Dal punto di vista della pura tecnologia hardware, soprattutto per quanto riguarda i dispositivi HDD, cominciano a comparire sostanziali limitazioni fisiche che frenano la miniaturizzazione (*scaling*) della registrazione magnetica. È probabile quindi che il ritmo di aumento della densità areale, e quindi la riduzione del costo per bit, possa cominciare a rallentare nei prossimi dieci anni.

Ciononostante non si vedono ancora tecnologie che possano in breve tempo sostituire le attuali tecniche di registrazione magnetica, che continuano quindi ad occupare stabilmente una solida nicchia del mercato IT.

Al momento si prevede che al massimo si potrà ottenere una densificazione di due ordini di grandezza (x 100) rispetto all'attuale tecnologia di registrazione magnetica. Entro dieci anni, peraltro, ulteriori tecnologie potranno forse offrire una reale alternativa.

Molto promettenti sembrano le cosiddette *memorie olografiche*. I recenti progressi indicano, infatti, la possibilità di costruire memorie nelle quali un'intera pagina di informazioni può essere simultaneamente memorizzata attraverso meccanismi di interferenza ottica in materiali fotosensitivi, incrociando due raggi laser coerenti all'interno del materiale. In questo caso la grande capacità di memorizzazione discende dal fatto che la memoria olografica è di tipo volumetrico e non di superficie [6]. La luce proveniente da una fonte laser coerente viene divisa in due fasci (beam), che sono rispetti-

vamente quello di segnale, che trasferisce i dati, e quello di riferimento. Quando i due fasci di luce si intersecano sulla superficie del supporto si crea un ologramma, ossia un disegno formato da zone chiare e scure che possono quindi rappresentare i bit 0 e 1. L'ologramma è quindi costituito da una specie di reticolo ottico che, enormemente ingrandito, potrebbe sembrare la superficie di una scacchiera che può contenere ben più di 64 caselle. I dati sono quindi organizzati in tali "scacchiere" di bit. L'ologramma viene registrato, a seguito di una reazione chimica, in un supporto sensibile alla luce (come accade in una pellicola fotografica) nel punto dove si intersecano i fasci di riferimento e di segnale. Modificando l'angolo e la lunghezza d'onda del fascio di riferimento, o la posizione del supporto, diventa possibile registrare ologrammi differenti nello stesso volume. Se il materiale stesso viene colpito da uno dei due fasci che in precedenza aveva costruito l'ologramma si può ricostruire l'informazione originaria del secondo fascio e quindi leggere le informazioni memorizzate.

Alcuni costruttori come la InPhase Technologies e la Japan's Optware hanno annunciato un dettagliato piano di evoluzione per la commercializzazione di questa tecnologia. La Inphase Technologies ha recentemente dichiarato che nel 2006 sarà disponibile un disco da 300 Gbyte e nel 2009 da 1.6 Tbyte, mentre la Optware, che ha denominato HVD (*Holographic Versatile Disk*) il nuovo supporto, afferma che entro un anno saranno disponibili HVD da 100-200 Gbyte per arrivare in altri due o tre anni a 3.9 Tbyte. Supporti come gli HVD, poiché non sono in rotazione, non devono leggere sequenzialmente bit dopo bit e possono trasferire in parallelo fino a 10 kbyte, con un evidente grande miglioramento nelle prestazioni di diverse applicazioni, quali soprattutto quelle mediche, geospaziali, di business e multimediali.

Ma c'è un'ulteriore possibilità, ossia quella di utilizzare particolari polimeri per memorizzare in piccoli spazi enormi quantità di dati. I polimeri sono materiali organici flessibili e robusti (come per esempio i giubbotti antiproiettile) costituiti da enormi ca-

tene di molecole identiche. Nel 1970 si è scoperto che tali materiali da isolanti possono anche diventare conduttori e possono quindi essere utilizzati per applicazioni elettroniche. Negli ultimi anni sono state esplorate diverse soluzioni tecnologiche tra le quali la cosiddetta *Thin Film Memory* nella quale un substrato di un opportuno materiale (come il silicio) può essere rivestito con uno strato estremamente sottile (thin film) di polimero. Il thin film è inserito tra due gruppi ortogonali di microfilamenti (elettrodi) che si incrociano in molteplici punti. Ogni punto di intersezione tra due microfilamenti rappresenta una cella di memoria che contiene un bit. Differenti voltaggi applicati opportunamente ai fili possono consentire di scrivere o di leggere. Il meccanismo non è poi tanto diverso da quello di una memoria a transistor realizzata su silicio. Gli elettrodi vengono, per così dire, stampati direttamente sul film di polimero. Far crescere le dimensioni della memoria vuol quindi dire sovrapporre un nuovo strato sul precedente, e così via.

Ogni strato di polimero ha una sezione verticale di meno di un decimillesimo di millimetro ed è facile da depositare. Su di una scheda delle dimensioni di una carta di credito diventa quindi possibile costruire una memoria con la capacità di quasi mezzo milione di CD o cinquantamila DVD. In questo momento il maggiore sforzo industriale è proprio nel cercare di mantenere le linee di produzione di silicio, dal wafer al chip, per cercare di adattarle a questo ulteriore processo costruttivo in modo da ridurre gli investimenti necessari.

Negli ultimi anni si è così riusciti a costruire memorie a polimeri di tipo ROM, e ora si sta cercando di ampliare il processo di costruzione alle memorie di tipo RAM.

Un'ultima tecnologia molto complessa, che, di fatto, è una vera e propria nanotecnologia, la cosiddetta *probe-based storage technology*, si avvale di tecniche basate sul microscopio a forza atomica (AFM) e sul microscopio ad effetto tunnel (STM) per raggiungere densità di registrazione delle informazioni dell'ordine di 1 Tbit, ossia mille miliardi di bit, per pollice quadrato [7]; ma sembra ancora abbastanza lontana.

Si può infine osservare come Internet possa diventare esso stesso una gigantesca memoria utilizzabile da miliardi di utenti.

L'università di Berkeley ha avviato nel 2002 un progetto, *OceanStore*, per creare un sistema in grado di memorizzare in maniera organica le informazioni distribuite su Internet. Per mezzo di *OceanStore* i dati dovrebbero diventare accessibili a tutti, simultaneamente, e in qualunque momento. Inoltre i dati non dovrebbero mai andare perduti o distrutti e al tempo stesso restare inaccessibili a chi non è autorizzato. Il sistema organizza gli archivi e li fraziona in blocchi di dati che possono essere continuamente trasferiti e moltiplicati su altri nodi della rete. Un unico blocco può essere sufficiente per ricostruire l'intero archivio.

Di conseguenza se anche un nodo della rete cessa di funzionare, lo specifico archivio non va perduto. *OceanStore* memorizza quindi dati in maniera promiscua: ogni server può creare una replica locale di qualsivoglia aggregato di dati e queste copie locali consentono anche migliori prestazioni poiché riducono il traffico complessivo di rete localizzandolo dove necessario. *OceanStore* assegna a ciascun blocco un codice identificativo univoco, denominato *globally unique identifier*.

Quando un utente necessita di un determinato archivio chiede al proprio nodo di ritrovare l'insieme dei blocchi più vicini e di ricostruire l'archivio stesso. Quest'ultimo non è accessibile quindi che agli utenti che possiedono le chiavi giuste. Unitamente ad opportuni sistemi di crittografia questa tecnica dovrebbe garantire la sicurezza dei dati memorizzati su Internet.

Alcuni componenti di *OceanStore* sono già funzionanti mentre l'intero prototipo è ancora in fase di sviluppo; ma quando e se dovesse completarsi realizzerebbe forse quanto Borges aveva detto già nel 1941 nel suo racconto "La biblioteca di Babele":

"Quando si proclamò che la Biblioteca comprendeva tutti i libri, la prima impressione fu di straordinaria felicità. Tutti gli uomini si sentirono padroni di un tesoro intatto e segreto. Non v'era problema personale o mondiale la cui eloquente soluzione non esistesse: in un qualche esagono. L'universo era

giustificato, l'universo attingeva bruscamente le dimensioni illimitate delle speranze".

Bibliografia

- [1] Lyman Peter, Varian Hal R.: *How Much Information 2003?* <http://www.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info-2003/>
- [2] *A Brief History of the Hard Disk Drive.* <http://www.storagereview.com/guide2000/ref/hdd/hist.html>
- [3] Chirillo John, Blaul Scott, Chirillo John, Blaul Scott: *Storage Security: Protecting, SANs, NAS and DAS* Wiley. 1 edition, December 20, 2002.
- [4] Schulz Greg: *Resilient Storage Network: Designing Flexible Scalable Data Infrastructures.* Digital Press, April 7, 2004.
- [5] Tarnopolsky Giora J.: *Areal density growth.* www.thic.org/pdf/Mar03/tarnotek.gtarnopolsky.030304.pdf
- [6] Ashley J., Bernal M.-P., Burr G. W., Coufal H., Guenther H.: *Holographic data storage.* <http://www.research.ibm.com/journal/rd/443/ashley.html>
- [7] Eleftheriou E., et al: *A Nanotechnology-based Approach to Data Storage.* Proc. 29-th VLDB Conf., Berlin, Germany, Sep. 2003. http://www.zurich.ibm.com/pdf/sys/storage/ELE_VLDB2003.pdf

ERNESTO HOFMANN laureato in fisica presso l'Università di Roma, ha lavorato oltre 35 anni per la IBM in Italia, in Francia e negli USA, nei maggiori laboratori di sviluppo dei grandi computer. È autore di molteplici pubblicazioni sia di carattere tecnico sia divulgative, nonché di svariati articoli e interviste. È attualmente docente di "Economia e gestione delle imprese internazionali" presso l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano. ernesto_hofmann@mac.com