



L'affidabilità delle memorie ottiche per la conservazione a lungo termine dei documenti digitali

Stefano Allegrezza

1. Introduzione

Le memorie ottiche vengono oggi ampiamente utilizzate per la conservazione nel tempo dei documenti digitali, soprattutto nel caso di archivi digitali prodotti da singoli individui, famiglie o organizzazioni di dimensioni medio-piccole. Esse rientrano nella categoria delle memorie di massa e sono di tipo permanente, ovvero consentono di conservare i documenti registrati su di essi anche in assenza di alimentazione elettrica. Tutte le memorie di massa finora prodotte si caratterizzano per la capacità di immagazzinare una determinata quantità di documenti per un tempo più o meno lungo ma sicuramente non illimitato; non fanno eccezione le memorie ottiche, che sono anch'esse intrinsecamente fragili: ecco quindi che se si vogliono ottenere sufficienti garanzie sulla loro capacità di conservare nel tempo i documenti ad esse affidati occorre conoscere con precisione le modalità di utilizzo e gli accorgimenti che occorre adottare. Nel seguito, dopo aver illustrato i principi di funzionamento di queste memorie, si cercherà di individuare le loro criticità al fine di comprendere i criteri che devono guidare nell'attuazione di una corretta strategia di conservazione che



consenta di evitare la perdita dei documenti, spesso preziosi, che vengono archiviati su di esse.

2. Le varie tipologie di memorie ottiche

Le memorie ottiche vengono così dette perché le operazioni di scrittura e lettura dei dati si basano sull'utilizzo di un raggio *laser* (quindi, una radiazione luminosa). Appartengono a questa categoria varie tipologie di supporti ottici, come il *Compact Disc* (CD), il *Digital Versatile Disc* (DVD), il *Blu-ray Disc* (BD) e l'*High Definition Digital Versatile Disc* (HD-DVD), quest'ultimo già obsoleto sebbene si tratti di un supporto ancora recente. Quando si parla di supporti ottici è necessario, innanzitutto, operare una classificazione generale distinguendo tra (si veda la Figura 1):

- supporti *stampati*;
- supporti *scrivibili*;
- supporti *riscrivibili*.

I supporti *stampati* vengono detti anche "preregistrati" perché i documenti sono già presenti su di essi e non possono essere scritti dall'utente ma solo letti: in questo senso appartengono alla categoria delle memorie di tipo ROM (*Read Only Memory*). È il caso, ad esempio, dei CD-Audio, che contengono brani musicali, dei DVD-Video contenenti film, od ancora, dei CD e dei DVD che si trovano spesso allegati alle riviste che si acquistano in edicola o che vengono distribuiti in occasione di fiere e convegni. La registrazione delle informazioni sul supporto avviene mediante un processo meccanico di stampaggio¹.

¹ Si tratta di un procedimento lungo e costoso che prevede la produzione di un *master* (denominato *glass master* dal momento che è spesso realizzato in cristallo) che rappresenta il "negativo" del supporto da realizzare e a partire dal quale si realizzano, per stampaggio, le copie necessarie. A causa dei costi elevati, il processo di stampaggio risulta conveniente rispetto alla masterizzazione solo se si deve produrre un elevato numero di copie tutte con lo stesso identico contenuto.

I supporti *scrivibili* possono essere scritti una sola volta (mediante un dispositivo denominato *masterizzatore*) e letti un numero illimitato di volte: in questo senso appartengono alla categoria delle memorie di tipo WORM (*Write Once Read Many*). È il caso dei CD-R (*Compact Disc Recordable*), dei DVD-R e DVD+R (*DVD Recordable*) e dei BD-R (*Blu-ray Disc Recordable*).

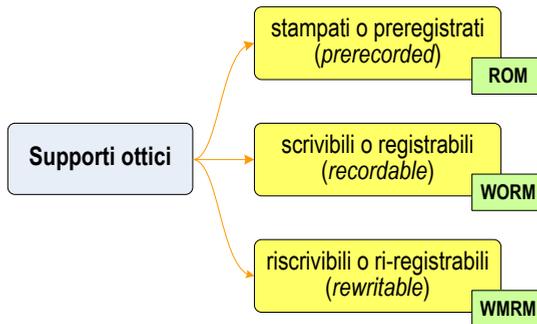


Figura 1: Classificazione delle memorie ottiche

L'ultima categoria è quella dei supporti *riscrivibili*, che possono essere scritti, cancellati e riscritti più di volte: in questo senso appartengono alla categoria delle memorie di tipo WORM (*Write Many Read Many*). Rientrano in questa tipologia i CD-RW (*Compact Disc ReWritable*), i DVD-RW e DVD+RW (*DVD ReWritable*), i BD-RE (*Blu-ray Disc Recordable Erasable*).

Dal punto di vista costruttivo, non c'è molta differenza tra CD, DVD e Blu-ray Disc: hanno tutti le stesse dimensioni (12 cm di diametro e 1,2 mm di spessore) e hanno in linea di massima una struttura simile. Vi è invece una certa differenza nel modo in cui vengono registrati i bit "0" ed "1" tra supporti stampati, scrivibili e riscrivibili.

I supporti *stampati* sono normalmente composti da quattro diversi strati (si veda la Figura 2): l'etichetta; uno strato di lacca protettiva in resina acrilica; lo strato contenente i dati che agisce anche come strato riflettente ed è realizzato, solitamente, in alluminio; infine, uno

strato di policarbonato trasparente. Il processo di stampaggio produce sulla superficie di lettura una sequenza di *pit* e di *land* (ovvero di "buche" e di "pianure") ciascuno dei quali corrisponde, semplificando molto², ad un bit "0" oppure "1". Durante la fase di lettura viene diretto sulla superficie del disco un fascio di luce *laser*, che attraversa lo strato di policarbonato, raggiunge lo strato riflettente e da questo viene riflesso. Durante questo percorso, se incontra un *land*, subisce una riflessione completa, mentre se incontra un *pit* subisce una riflessione parziale. Rilevando, mediante un fotosensore, la differenza di riflettanza³ che si verifica nei due casi, è possibile discriminare tra i bit "0" ed "1".

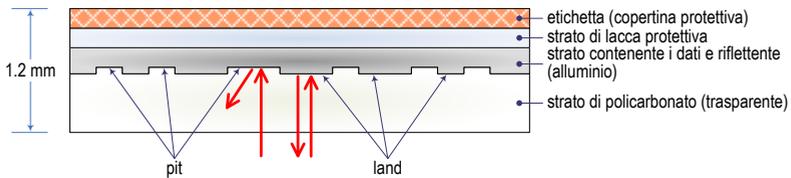


Figura 2: La struttura di un supporto stampato (visto in sezione)

I supporti *scrivibili* hanno una struttura simile ma con alcune differenze nella composizione degli strati (si veda la Figura 3): solitamente vi sono un'etichetta o una superficie stampabile (opzionali) posti sulla superficie superiore; uno strato protettivo di lacca in resina acrilica; uno strato riflettente, realizzato mediante una pellicola in oro, argento, alluminio o altri metalli e leghe; uno strato, detto *dye*, costituito da una pellicola di materiale polimero organico colorato sul quale vengono memorizzati i dati; infine, uno strato di policarbonato che serve come protezione. Durante la fase di scrittura

² In realtà, il meccanismo è più complesso: infatti, il bit "0" corrisponde alla presenza di un *pit* o di un *land*, mentre il bit "1" corrisponde alla presenza di una transizione tra un *pit* ed un *land* o viceversa.

³ La *riflettanza* indica, in ottica, la proporzione di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere. È quindi data dal rapporto tra l'intensità del raggio *laser* incidente e l'intensità del raggio *laser* riflesso.

del supporto (*masterizzazione*), un fascio di luce *laser* ad elevata temperatura viene diretto sulla superficie di registrazione del supporto producendo delle piccolissime zone "bruciate" (dette *mark*) nello strato di polimero organico (*dye*) e lasciando delle zone "non bruciate" (dette, come nel caso dei supporti stampati, *land*), corrispondenti ai bit "0" ed "1". Durante la fase di lettura, viene diretto verso la superficie del disco un fascio di luce *laser*: se questo incontra una zona "non bruciata", viene completamente riflesso, mentre se incontra una zona "bruciata" (*mark*) viene riflesso solo parzialmente (il *mark* si comporta, quindi, come un *pit* di un supporto stampato). Anche in questo caso, dalla differenza di riflettanza è possibile discriminare tra bit "0" ed "1".

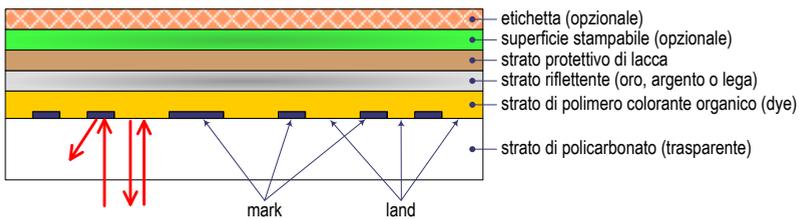


Figura 3: La struttura di un supporto scrivibile (visto in sezione)

I supporti *riscrivibili* possono essere scritti, cancellati e riscritti più volte. Hanno una struttura molto simile a quella dei supporti scrivibili (si veda la Figura 4), con l'unica sostanziale differenza che il *dye* è sostituito da uno strato di materiale inorganico che può passare, per effetto del raggio laser, dallo stato cristallino, altamente riflettente, a quello amorfo, poco riflettente (il processo è reversibile e questo spiega la "riscrivibilità"). In questo caso si avranno delle zone "cristalline" e delle zone "amorfe" che corrispondono ai *pit* ed ai *land* dei supporti stampati. La durata di un supporto riscrivibile è assai difficile da stabilire: i produttori dichiarano possibili, forse con un eccesso di ottimismo, un migliaio di riscritture, ma la pratica dimostra che l'affidabilità di un supporto riscrivibile comincia a diminuire drasticamente già dopo qualche decina di riscritture (a

volte anche molto prima). In ogni caso è sicuramente inferiore a quella di un supporto scrivibile e ciò fa comprendere come i supporti riscrivibili non siano adatti alla conservazione a lungo termine.

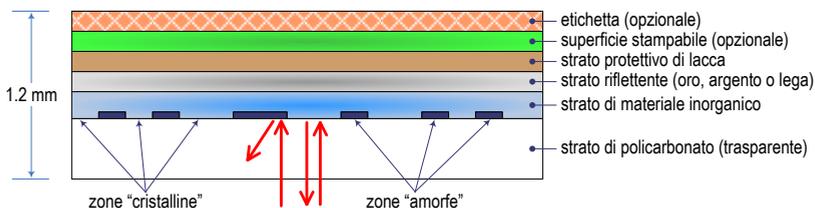


Figura 4: La struttura di un supporto riscrivibile (visto in sezione)

Dal punto di vista dell'organizzazione fisica, tutti i supporti ottici (sia stampati, che scrivibili che riscrivibili) condividono la stessa logica: i dati sono disposti secondo una traccia a spirale che inizia nella zona interna del disco e termina nella zona esterna (esattamente il contrario di quanto avviene con i brani audio contenuti nei vecchi dischi in vinile).

3. L'affidabilità delle memorie ottiche

Per affrontare correttamente la questione dell'affidabilità delle memorie ottiche è fondamentale premettere che qualsiasi supporto ottico, per quanto prodotto con le migliori tecniche ed utilizzando i migliori materiali e per quanto sia stato registrato utilizzando le migliori apparecchiature e le metodiche più affidabili, presenta sempre e comunque un certo numero di imperfezioni che producono inevitabilmente degli errori in fase di lettura (Marken 2004, Slattery et al. 2004, NIST/LC 2005, IASA 2009). L'origine di questi errori è imputabile a diverse cause: la presenza sui supporti di difetti di fabbricazione, la non corretta esecuzione della procedura di masterizzazione, la presenza di graffi, rigature, depositi di polvere o altre impurità dovuti al maneggio, etc.; spesso, tuttavia, gli errori sono riconducibili al lento ma inevitabile degrado del supporto che si verifica nel tempo. Per contrastare questo fenomeno i lettori di

supporti ottici sono dotati di meccanismi di rilevazione e correzione degli errori che consentono di "leggere" correttamente un supporto anche in presenza di errori: fino a quando il numero di errori non supera un certo livello di soglia, essi vengono rilevati e corretti ed il supporto risulta perfettamente leggibile. Quando il numero di errori, a causa del progressivo degrado del supporto, supera il valore di soglia, i meccanismi di rilevazione e correzione degli errori non riescono più a svolgere il loro compito ed il supporto diventa illeggibile, il più delle volte senza alcun preavviso. Il degrado legato al tempo che affligge i supporti ottici è stato dimostrato anche mediante test di invecchiamento artificiale condotti secondo la metodologia di Arrhenius⁴. I risultati di questi test hanno mostrato (Shahani, Youket e Weberg 2004a, Shahani, Youket e Weberg 2004b, Shahani, Manns e Youket 2005, Iraci 2005, NIST 2007) in maniera inequivocabile che i supporti ottici subiscono sempre e comunque un degrado, più o meno marcato a seconda delle caratteristiche

⁴ Questa metodologia prevede la "simulazione" del processo naturale di invecchiamento ottenuta collocando i supporti all'interno di una "camera climatica" e sottoponendoli a condizioni di temperatura ed umidità relativa molto elevate. I metodi da seguire nella conduzione di questi test sono stati ampiamente standardizzati, in maniera da condurre a risultati confrontabili tra loro. Si vedano le norme: ANSI NPM IT9.21-1996 - Life Expectancy of Compact Discs (CD-ROM). Method for Estimating, Based on Effects of Temperature and Relative Humidity, ISO 18921:2008 - Imaging materials. Compact discs (CD-ROM). Method for estimating the life expectancy based on the effects of temperature and relative humidity, ISO 18927:2013 - Imaging materials. Recordable compact disc systems. Method for estimating the life expectancy based on the effects of temperature and relative humidity, ISO/IEC 10995:2011 - Information technology. Digitally recorded media for information interchange and storage. Test method for the estimation of the archival lifetime of optical media, ISO/IEC 16963:2011 - Information technology. Digitally recorded media for information interchange and storage. Test method for the estimation of lifetime of optical media for long-term data storage; si veda anche Podio 1991a, Podio 1991b.

costruttive del supporto e delle condizioni ambientali in cui vengono conservati⁵.

4. I fattori che influenzano l'affidabilità delle memorie ottiche

L'affidabilità delle memorie ottiche dipende da molti fattori (si veda la Figura 5), alcuni dei quali sono controllabili dagli utenti, altri no: essi sono legati alla qualità dei supporti utilizzati e del processo di masterizzazione, alle condizioni ambientali, al maneggio e al trascorrere del tempo (ISO 18925:2013 - Imaging materials. Optical disc media. Storage practices, Byers 2003, Bradley 2006). Nel seguito saranno analizzati i principali fattori, in maniera da comprendere su quali di essi agire e quali comportamenti adottare per garantire la conservazione nel tempo dei documenti registrati su questi supporti.

⁵ Uno studio condotto presso il *National Institute of Science and Technology* ha stimato che l'aspettativa di vita di un DVD-R conservato in condizioni ambientali ottimali (temperatura a 25 °C e con una umidità relativa del 50%) non supera i trent'anni (NIST/LC 2005).

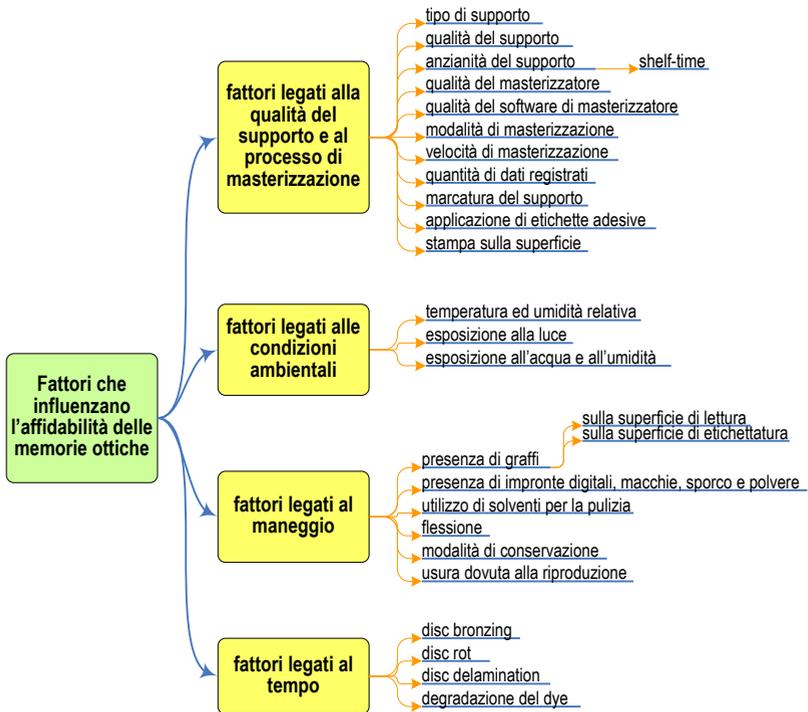


Figura 5. Classificazione dei fattori di degrado

4.1 Fattori di degrado legati alla qualità del supporto e al processo di masterizzazione

Il primo fattore da prendere in considerazione è legato al *tipo di supporto*: dovendo scegliere tra supporti di tipo stampato, scrivibile e riscrivibile, occorre tener presente che i supporti più affidabili sono i primi (tanto che sono numerosi i CD-Audio stampati agli inizi degli anni '80 che, a distanza di oltre trenta anni dalla loro produzione, vengono tuttora letti correttamente). Per minimizzare i rischi di perdita di dati, l'ideale sarebbe, quindi, utilizzare supporti stampati ma ciò non è economicamente conveniente (si veda la nota 1). Nella scelta tra le rimanenti due tipologie di supporti, si deve tenere

presente che nei supporti riscrivibili lo strato su cui vengono registrati i dati comincia a degradare molto rapidamente subito dopo il processo di masterizzazione rendendo questi supporti inadatti per la conservazione a lungo termine; di conseguenza l'unica scelta possibile rimane quella dei supporti scrivibili.

Un secondo fattore da prendere in attenta considerazione riguarda la *qualità dei supporti* utilizzati: è opportuno evitare l'impiego di supporti di bassa qualità e vale certamente la pena spendere un po' di più e affidare la conservazione a supporti di buon livello piuttosto che rischiare di perdere i propri documenti digitali perché sono stati registrati su supporti di cattiva qualità⁶.

Un terzo fattore che va considerato è quello dell'*anzianità del supporto*, strettamente legato al concetto di *shelf-time* (ovvero, il tempo "trascorso" sullo scaffale). Dal momento che lo strato registrabile (*dye*) subisce un costante ed inevitabile degrado nel tempo, è preferibile masterizzare supporti che non siano stati prodotti da parecchio tempo (ad esempio, da alcuni anni), perché in tal caso i supporti potrebbero già presentare un elevato numero di errori⁷.

Per quanto riguarda il processo di masterizzazione, occorre tener presente che esso è influenzato dalla *qualità del masterizzatore*, dalla *qualità del software di masterizzazione*, dalle *modalità di masterizzazione* e dai formati logici, dalla compatibilità tra il masterizzatore e il supporto e dalla *velocità di masterizzazione*. Su quest'ultimo aspetto vale la pena soffermarsi: in generale, la qualità della registrazione è strettamente legata alla velocità con cui il masterizzatore registra i

⁶ Com'è facilmente intuibile, l'affidabilità dei supporti scrivibili è strettamente legata al tipo di *dye* impiegato: ne esistono diversi tipi (la cianina, la ftalocianina, l'azo, il formazan, etc.) ma non tutti gli studi sono concordi nell'individuare quali siano i migliori.

⁷ Pertanto, quando si acquistano supporti ottici sarebbe opportuno evitare di acquistare "fondi di magazzino" o comunque supporti che sono rimasti sugli scaffali parecchi anni.

dati sul supporto perché più la velocità aumenta più diventa complesso per il raggio *laser* del masterizzatore riuscire a creare *mark* con contorni ben definiti e dalle dimensioni corrette. Se il programma di masterizzazione lo consente, è bene masterizzare alla minima velocità consentita. Inoltre, la parte più esterna di ciascun supporto è quella che presenta di solito un maggior numero di difetti di fabbricazione ed è quella che tende prima a presentare errori (Burgazzi e Spezza 2005, Burgazzi 2007). Pertanto, una buona regola è quella di ridurre la *quantità di dati registrati* sul supporto ed arrivare indicativamente a circa il 70-75% della sua capacità di memorizzazione⁸.

Nella fase di *marcatura* dell'etichetta del supporto, per ridurre al minimo il rischio di graffi o ammaccature è consigliabile utilizzare un marcatore con la punta a feltrino morbido (Byers 2003). Assolutamente da evitare è l'uso di una penna a sfera, una matita o un pennarello a punta fine. Inoltre, com'è ovvio, non si deve mai scrivere sul lato di registrazione del supporto. Dal momento che il sottile rivestimento protettivo presente sul supporto può deteriorarsi al contatto con certi solventi contenuti nell'inchiostro, è raccomandabile l'utilizzo di marcatori a base d'acqua evitando nella maniera più assoluta quelli a base di solventi. In alternativa è possibile utilizzare marcatori a base di alcool, che è generalmente meno dannoso dei solventi⁹.

Sui supporti ottici destinati alla conservazione a lungo termine andrebbe evitata l'applicazione di *etichette adesive*, poiché nel tempo

⁸ Per un CD ciò significa registrare circa 500 MB di dati anziché 700 MB; per un DVD da 4,7 GB si potrebbe arrivare fino a circa 3,5 GB, e così via.

⁹ La scelta di un buon marcatore è particolarmente importante nel caso dei CD, dal momento che lo strato che contiene i dati è molto vicino alla superficie dell'etichetta (a distanza di soli 0,1 mm). Nei DVD la scelta del marcatore è meno importante, poiché lo strato contenente i dati è posizionato al centro del supporto (a distanza di 0,6 mm dall'etichetta) ed, in teoria, i solventi eventualmente contenuti nel marcatore non dovrebbero riuscire a raggiungerlo. Nei Blu-ray Disc la situazione è ancora migliore, visto che lo strato contenente i dati si trova ad una distanza di 1,1 mm dall'etichetta.

tendono a scollarsi andando ad interferire con il corretto funzionamento del lettore. Inoltre, l'adesivo dell'etichetta può reagire chimicamente con lo strato di lacca protettivo provocandone il deterioramento; questo fenomeno è particolarmente dannoso nel caso dei CD, nei quali, come detto poc'anzi, lo strato contenente i dati si trova subito al di sotto dello strato protettivo; nel caso dei DVD e dei Blu-ray Disc il rischio di procurare un danno è più limitato. Infine, l'applicazione di un'etichetta, per quanto piccola e leggera possa essere, tende sempre a causare uno sbilanciamento nella rotazione del disco durante la fase di lettura, e, nei casi più gravi, può rendere il supporto illeggibile, oltre a produrre sempre un'usura prematura del lettore. Se proprio è necessario utilizzare un'etichetta adesiva, è opportuno utilizzare quelle a forma di corona circolare che si applicano attorno al foro centrale.

4.2 Fattori di degrado legati alle condizioni ambientali

Tra i fattori a cui i supporti ottici risultano più sensibili vi sono certamente la *temperatura* e l'*umidità relativa*. I supporti ottici funzionano correttamente all'interno di un ampio *range* di condizioni di temperatura e di umidità relativa, ma se conservati in un ambiente più fresco e meno umido e non sono soggetti a brusche variazioni nelle condizioni ambientali riescono a raggiungere una maggiore longevità. Anche l'*esposizione alla luce* influenza la longevità dei supporti ottici, provocando un degrado che è diverso a seconda del tipo di supporto (stampato, scrivibile o riscrivibile). Per quanto riguarda i supporti scrivibili, l'esposizione prolungata alla luce solare diretta o ad altre sorgenti di raggi ultravioletti può aumentare in maniera significativa la velocità di degradazione del *dye*, causando quindi degli errori in fase di lettura. Infine, va evitata l'*esposizione all'acqua e all'umidità* perché può causare la penetrazione di acqua nella struttura del disco, dove può reagire con qualcuno degli strati provocando danni irreparabili.

4.3 Fattori di degrado legati all'utilizzo

Qualsiasi agente (graffi, impronte, sporco, pulviscolo, polvere, tracce di solventi, goccioline di umidità e ogni altro materiale) che si trovi sulla superficie di lettura di un supporto ottico è potenzialmente in grado di interferire con la capacità del laser di focalizzare sui *pit* (o, equivalentemente, sui *mark* nel caso di supporti scrivibili o sulle zone amorfe nel caso di supporti riscrivibili) e quindi può rendere difficile, od anche impossibile, la lettura dei dati.

I *graffi* rappresentano uno dei fattori di degrado più comuni e frequentemente causano errori di lettura. Nel caso dei CD, lo strato contenente i dati si trova a circa 1,1 mm di profondità, quindi c'è uno strato di policarbonato spesso circa 1,1 mm che li protegge (si veda la Figura 6); tuttavia, dal momento che lo spessore del CD è pari ad 1,2 mm, lo strato contenente i dati si trova in prossimità della etichetta del disco, quindi risultano pericolosi i graffi prodotti sull'etichetta del disco. Nel caso dei Blu-ray Disc il discorso è esattamente l'opposto: lo strato contenente i dati si trova ad una profondità di soli 0,1 mm dalla superficie di lettura e quindi a distanza di 1,1 mm dall'etichetta del disco, pertanto risultano molto più pericolosi i graffi prodotti sulla superficie di lettura. Nel caso dei DVD, infine, lo strato contenente i dati si trova ad una profondità di 0,6 mm, ovvero a metà tra la superficie di registrazione del disco e l'etichetta; pertanto i DVD risultano sufficientemente protetti sia nei confronti dei graffi prodotti sulla superficie di registrazione che nei confronti dei graffi prodotti sull'etichetta¹⁰.

¹⁰ Per minimizzare il problema dei graffi e delle abrasioni, alcuni produttori hanno immesso sul mercato dei supporti, denominati *scratch-less disc*, appositamente progettati per ridurre in modo significativo la possibilità di danni dovuti a graffi, grazie alla presenza di una serie di piccole protuberanze, collocate sul bordo del supporto, che evitano il contatto del disco con la superficie su cui è appoggiato.

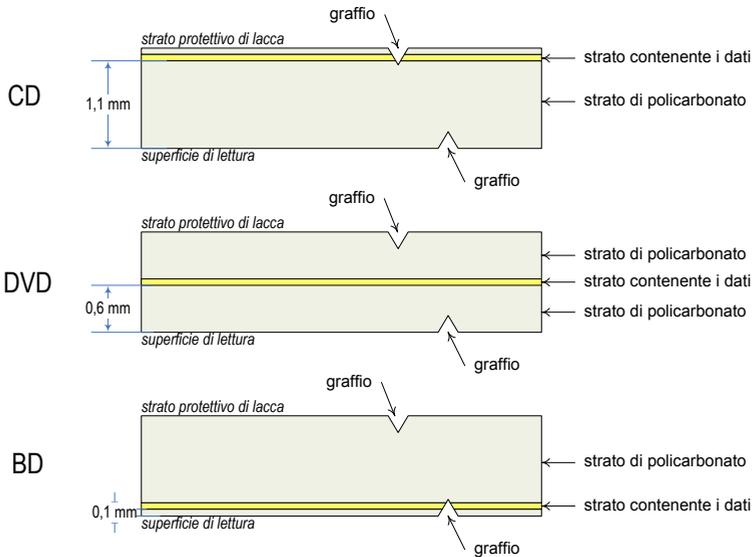


Figura 6. Effetti dei graffi su CD, DVD e Blu-ray Disc

È bene sapere che i graffi isolati e distanti tra di loro sono più facilmente correggibili rispetto ai graffi che si trovano ravvicinati tra di loro (*burst*). Di conseguenza, dal momento che i dati sono registrati sul supporto seguendo un percorso a spirale, gli errori che sono generati da graffi radiali (ovvero dal centro verso l'esterno o viceversa) hanno migliori probabilità di essere corretti rispetto ai graffi tangenziali (ovvero nella direzione delle tracce), che possono portare a letture con un numero di errori talmente elevato da rendere inefficaci i meccanismi di correzione degli errori.

Anche la presenza di *impronte*, *macchie*, *sporco* o *polvere* sulla superficie di lettura del disco possono bloccare o ridurre l'intensità del raggio laser provocando degli errori di lettura tali da superare le capacità di correzione del lettore. Inoltre, la polvere può spostarsi dal supporto e andare a depositarsi sulla lente del laser (o su altri componenti interni) provocando errori in fase di lettura.

Un fattore di degrado spesso sottovalutato è costituito dall'*impiego di solventi per la pulizia* dei supporti: va evitato l'uso di detergenti comuni o di solventi forti (come l'acetone o il benzene, che dissolvono il policarbonato, costituente principale del supporto). Per rimuovere lo sporco più ostinato è consentito l'utilizzo di solventi più deboli, come l'alcool isopropilico o il metanolo, poiché evaporano rapidamente e di conseguenza non hanno il tempo di provocare danni al policarbonato.

Un altro fattore di rischio è rappresentato dalla *flessione* del disco: qualsiasi curvatura permanente ne compromette la planarità e rende difficile la corretta focalizzazione del raggio laser; per questo occorre prestare particolare nel maneggiare un supporto (ad esempio, quando lo si estrae dalla sua custodia).

4.4 Fattori di degrado legati al tempo

Oltre all'inevitabile degrado dello strato di registrazione, di cui si è discusso, vi sono diversi altri fattori legati al tempo che possono produrre un degrado dei supporti ottici. Uno di questi è il *disc bronzing* (si veda la Figura 7-a), un fenomeno che colpisce lo strato riflettente dei supporti, provocandone la progressiva ossidazione a causa dell'infiltrazione di ossigeno, sia attraverso lo strato di lacca protettiva (che nel tempo può diventare porosa) che attraverso il bordo del disco¹¹. Purtroppo, una volta ossidato, lo strato riflettente perde la capacità di riflettere accuratamente il raggio laser che viene utilizzato per leggere i dati e il disco diventa inutilizzabile.

¹¹ Come già detto, lo strato riflettente dei supporti ottici è composto da un metallo o da una lega di metalli, ma questi tendono per natura ad ossidarsi: l'alluminio diventa allumina (Al_2O_3) che ha colorazione bianca o, in alcuni casi, trasparente; l'argento si ossida e diventa ossido di argento (Ag_2O); l'oro invece, più stabile, non si ossida. Per migliorare l'affidabilità dei supporti ottici limitando gli effetti dovuti all'ossidazione dello strato riflettente, alcune aziende hanno prodotto dei supporti di tipo *archival grade*, nei quali lo strato riflettente è realizzato con una sottilissima foglia d'oro: l'oro resiste molto bene all'ossidazione, anche se il costo del supporto risulta maggiore.

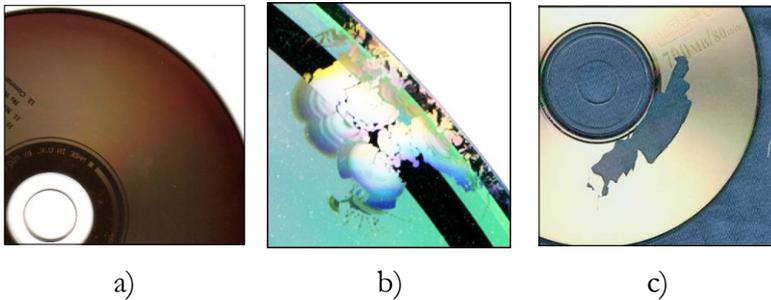


Figura 7: Esempi di a) disc bronzing; b) disc rot; c) disc delamination

Un altro fenomeno che affligge i supporti ottici è quello che prende il nome di *disc rot* (si veda la Figura 7-b), dovuto a varie tipologie di deterioramento fisico o chimico (dovuto all'abrasione fisica delle superfici del disco o dei suoi bordi, alle reazioni con agenti contaminanti, ai danni dovuti ai raggi ultravioletti e allo scollamento dell'adesivo utilizzato per far aderire insieme gli strati del disco, etc.). I sintomi del *disc rot* si presentano in diversi modi, ma i due più frequenti sono la presenza di una serie di minuscoli fori e la presenza di una o più macchie di vario colore sulla superficie del disco.

Una terza causa di deterioramento è il cosiddetto *disc delamination*: in questo caso si verifica un vero e proprio "distacco" di una parte più o meno estesa dello strato riflettente insieme allo strato di lacca protettiva che vi è collocata sopra e dell'eventuale etichetta (si veda la Figura 7-c) lasciando in questo modo una porzione del disco completamente trasparente. In questo modo, venendo a mancare lo strato riflettente, vi è l'impossibilità fisica di leggere i dati.

5. La cura e la manutenzione delle memorie ottiche

L'affidabilità dei supporti ottici può essere notevolmente migliorata se vengono rispettate alcune regole e seguiti alcuni semplici consigli.

Innanzitutto, per ridurre al minimo i fattori di degrado legati alla qualità dei supporti e al processo di masterizzazione, il consiglio più importante è quello di acquistare ed utilizzare esclusivamente supporti di buona qualità¹².

Anche durante la fase di masterizzazione di un supporto è bene seguire alcune semplici regole. Innanzitutto, è bene aprire la confezione del disco solo quando si è pronti a masterizzarlo, in maniera da minimizzare la possibilità che si possa depositare sulla superficie di registrazione qualche agente estraneo. Inoltre, prima di avviare la registrazione è bene controllare la superficie di registrazione del disco per verificare che non vi siano imperfezioni ed irregolarità (segno di possibili difetti costruttivi) e rimuovere eventuali tracce di sporcizia, pulviscolo, lanugine, etc. Una volta completata la masterizzazione, per la marcatura del supporto è opportuno utilizzare esclusivamente un pennarello specifico: deve avere la punta morbida e l'inchiostro deve essere a base acquosa. È opportuno anche evitare di utilizzare etichette adesive, che possono provocare nel tempo seri danni allo strato protettivo o sbilanciamenti del supporto avvertibili nella fase di lettura.

Per ridurre al minimo i fattori di degrado legati alle condizioni ambientali occorre conservare i supporti in un ambiente fresco, secco e buio in cui l'aria sia pulita e priva di fonti di contaminazione (come lo smog, gli inquinanti ambientali, etc.); è importante che la temperatura e l'umidità relativa si mantengano entro certi limiti

¹² Parlare di supporti migliori in senso assoluto è piuttosto difficile, perchè la qualità del supporto ottenuto al termine del processo di masterizzazione non dipende solo dalla qualità del supporto "vergine" ma anche dalla combinazione di diversi altri fattori: la qualità del masterizzatore usato, del software di masterizzazione, del metodo di scrittura scelto, della velocità di registrazione, etc. Variando anche uno solo di questi fattori, cambia il risultato finale.

evitando di conservare i supporti in ambienti caratterizzati da temperatura o umidità elevate¹³.

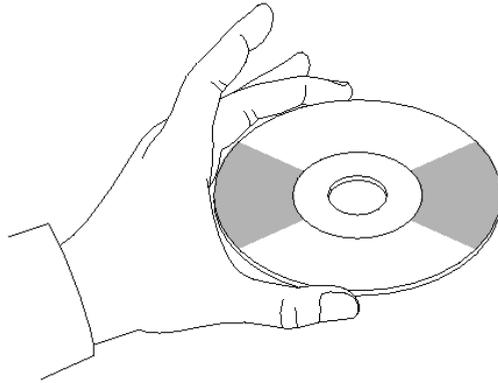


Figura 8: Il modo corretto per tenere in mano un supporto ottico

Dal momento che i supporti ottici sono sensibili alle radiazioni ultraviolette e alle deformazioni causate dal calore, si raccomanda di evitare di lasciarli esposti alla luce diretta del sole (ad esempio, in stanze con ampie vetrate, all'interno di un veicolo parcheggiato al sole, etc.) o in aree direttamente esposte a sorgenti di calore (come termosifoni, climatizzatori, etc.).

Per minimizzare i fattori di degrado legati al maneggio, occorre assolutamente evitare di toccare con qualsiasi mezzo (comprese le dita) la superficie dove sono registrati i dati. I supporti ottici dovrebbero essere maneggiati soltanto prendendoli per i bordi esterni (si veda la Figura 8) oppure per il bordo esterno ed il foro centrale, facendo attenzione a non fletterli. Se è necessario procedere alla loro pulizia è bene utilizzare un panno molto morbido

¹³ Fred R. Byers (2003) raccomanda per la temperatura un range compreso tra i 4 e i 20 °C; per l'umidità relativa suggerisce valori compresi tra il 20% e il 50%. Considera, infine, condizioni ambientali ottimali ai fini della conservazione a lungo termine una temperatura di 18 °C ed una umidità relativa del 40%.

strofinando delicatamente con movimenti radiali (dal centro verso l'esterno o viceversa) evitando accuratamente i movimenti circolari (si veda la Figura 9); in questo modo, qualora si dovessero produrre dei graffi, si minimizza la possibilità di creare degli errori di tipo *burst* (che sono i più difficili da correggere).

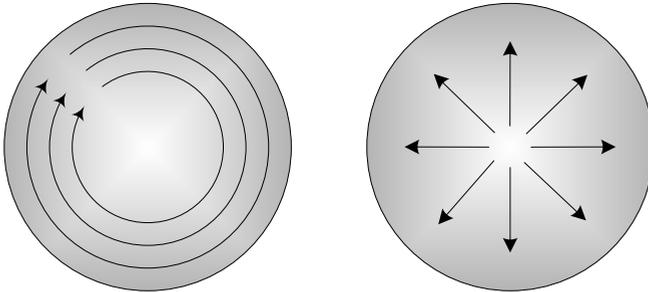


Figura 9: I movimenti corretti (a sinistra) ed errati (a destra) nella pulizia di un supporto ottico

Quando non vengono utilizzati ed ogni volta che vengono rimossi dal lettore o dal masterizzatore, i supporti ottici dovrebbero essere sempre riposti nelle loro custodie¹⁴. Non tutte le custodie forniscono le stesse garanzie: quelle di tipo *jewel box* e *slimbox* sono disegnate in maniera tale da evitare che le superfici del disco possano entrare in contatto con le parti interne del contenitore e pertanto sono le più sicure. Vanno evitate, invece, le custodie che non danno alcuna garanzia dal punto di vista meccanico (ad esempio le cosiddette "bustine").

6. Considerazioni finali

Come si è potuto vedere nel corso della trattazione, i supporti ottici non sono "eterni" ma sono purtroppo soggetti a tutta una serie di

¹⁴ Se ciò non è possibile, occorre ricordarsi di non appoggiare mai un supporto ottico su di una superficie calda o ruvida e, soprattutto, non rivolgere mai la superficie di registrazione verso il piano di appoggio.

fattori di degrado che nel tempo ne riducono più o meno gradualmente la capacità di conservazione dei dati. Non è possibile eliminare del tutto questi fattori, ma solo limitarne gli effetti effettuando le scelte corrette in tutte le fasi della gestione del supporto, dalla quella iniziale relativa alla scelta del supporto, alla fase di masterizzazione, fino alla fase di conservazione. Ma tutto questo non basta: occorre mettere in atto almeno altre due strategie.

Innanzitutto occorre effettuare un *monitoraggio continuo dei supporti*: dal momento che non è possibile determinare con certezza il momento in cui il degrado del supporto sarà tale da renderlo illeggibile, è fondamentale non limitarsi alla semplice "leggibilità" del supporto ma monitorare costantemente il suo "stato di salute", tenendo sotto controllo gli indicatori atti a rivelarne il livello raggiunto (Hartke 2000, Hartke 2001, OSTA 2003, Mongiello e Salza 2006, Buonora, La Camera e Liberati 2008a, Buonora, La Camera e Liberati 2008b, McFadden 2010, Salza 2013). Tale misurazione può essere fatta con programmi software per uso *consumer* (i cosiddetti software "di scansione"), ma se si vogliono ottenere risultati affidabili è bene affidarsi ad apparecchiature professionali. Inoltre, le verifiche dovrebbero essere condotte sulla base di procedure standardizzate, come quella prevista dalla norma ISO/IEC 29121:2013 - Information technology. Digitally recorded media for information interchange and storage. Data migration method for DVD-R, DVD-RW, DVD-RAM, +R, and +RW disks. Nel caso in cui, dalle verifiche effettuate, ci si dovesse accorgere che si sta raggiungendo il livello di "guardia" occorre immediatamente procedere alle necessarie operazioni di riversamento su un altro supporto. Il riversamento non ammette alcuna dilazione temporale e deve essere eseguito non appena il supporto comincia a mostrare segni di invecchiamento e sufficientemente prima che venga superata la soglia di non correggibilità degli errori: se dovesse essere superata tale soglia, le informazioni registrate sul supporto potrebbero non essere più recuperabili.

In secondo luogo è necessario effettuare periodicamente una o più copie (*backup*) dei documenti contenuti su un determinato supporto su altri supporti, possibilmente di tipo diverso¹⁵, basati su tecnologie diverse¹⁶ e conservati in luoghi geograficamente distanti, per ridurre al minimo il rischio di perdite di dati che potrebbero verificarsi nel caso dovessero sopraggiungere eventi di natura calamitosa.

Come si può intuire, è necessario un atteggiamento decisamente "attivo": solo così si potrà avere la ragionevole certezza di riuscire a garantire la conservazione a lungo termine dei documenti digitali registrati sulle memorie ottiche.

7. Riferimenti bibliografici

Bradley, Kevin. 2006. *Risks Associated with the Use of Recordable CDs and DVDs as Reliable Storage Media in Archival Collections - Strategies and Alternatives*. UNESCO, Memory Of The World Programme. unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147782E.pdf

Buonora, Paolo, Francesco La Camera e Franco Liberati. 2008a. *OPTIMA, Optical Media Analysis, Progetto di ricerca sulla durevolezza dei supporti ottici*. Roma: Centro di fotoreproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato (CFLR).

---. 2008b. *Struttura dei supporti ottici e parametri di analisi*. Roma: Centro di fotoreproduzione legatoria e restauro degli Archivi di Stato (CFLR).

¹⁵ Ad esempio, di modelli o marche diversi in maniera da minimizzare il rischio che ci potrebbe essere se ci si affidasse ad un unico lotto di supporti dello stesso modello o della stessa marca che potrebbero, per vari motivi, essere difettosi.

¹⁶ Ad esempio, basati sulla tecnologia magnetica (come gli *hard disk* e i nastri magnetici) e sulla tecnologia ottica (come i CD, i DVD e i Blu-Ray Disc), in maniera da minimizzare la possibilità che un eventuale fattore di rischio che affligge un determinato tipo di tecnologia possa esplicare i suoi effetti anche nei confronti dell'altro tipo di tecnologia.

Burgazzi, Gabriele. 2007. "Masterizzazione professionale. Qualità di scrittura." *PC Open*, n. 131.

Burgazzi, Gabriele e Ugo Spezza. 2005. "Copia perfetta: trucchi e consigli. Analisi della compatibilità dei supporti con le cinque principali meccaniche dei drive in commercio." *PC Open*, n. 111.

Byers, Fred R. 2003. *Care and Handling of CDs and DVDs - A Guide for Librarians and Archivists*. NIST Special Publication 500-252.
<http://www.itl.nist.gov/iad/894.05/docs/CDandDVDCareandHandlingGuide.pdf>

Hartke, Jerome L. 2000. "CD-R Media Survey" *Software Fulfillment News* (May 18, 1998 and Updated May 22, 2000).
<http://www.msscience.com/survey.html> (via Internet Archive Wayback Machine)

Hartke, Jerome L. 2001. *Measures of CD-R Longevity*.
<http://www.msscience.com/longev.html> (via Internet Archive Wayback Machine)

International Association of Sound and Audiovisual Archives (IASA). 2009. *Guidelines on the Production and Preservation of Digital Audio Objects*. Si veda in particolare la sezione 8.1.9 "Errors, Life Expectancy and Testing and Analysis".
<http://www.iasa-web.org/tc04/audio-preservation>

Iraci, Joe. 2005. "The relative stability of Optical Disc Formats". *Restaurator, International Journal for the Preservation of Library and Archival Material*, Volume 26, Number 2, 2005.

Marken, Andy. 2004. *Data Longevity on CD, DVD Media: How Long Will They Last?*
<http://www.audioholics.com/education/audio-formats-technology/cd-and-dvd-longevity-how-long-will-they-last>

McFadden's, Andy. 2010. *CD-Recordable FAQ*
<http://www.cdrfaq.org>

Mongiello, Daniele e Silvio Salza. 2006. *Considerazioni sui supporti ottici*, CNIPA - Studi e ricerche.

NIST/LC. 2005. *Optical Media Longevity Study*. NIST Special Publication 500-263. Library of Congress (LC) and the National Institute of Standards and Technology (NIST).

http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=150372

NIST/LC. 2007. *Optical Disc Longevity Study: Final Report*. Library of Congress (LC) e the National Institute of Standards and Technology (NIST).

http://www.loc.gov/preservation/resources/rt/NIST_LC_OpticalDiscLongevity.pdf

Optical Storage Technology Association (OSTA). 2003. *Understanding CD-R & CD-RW*

http://www.osta.org/technology/pdf/cdr_cdrw.pdf.

Podio, Fernando L. 1991a. *Monitoring and Reporting Techniques for Error Rate and Error Distribution in Optical Disk Systems*. NIST Special Publication 500-198.

---. 1991b. *Development of a Testing Methodology to Predict Optical Disk Life Expectancy Values*. NIST Special Publication 500-200.

Salza, Silvio. 2013. "Guidelines for the use of CDs and DVDs as storage media in preservation repositories." *Archivi & Computer*, 1 (2013): 191-212

Shahani, Chandru J., Basil Manns and Michele Youket. 2005. *Longevity of CD Media: Research at the Library of Congress*

<http://www.loc.gov/preservation/resources/rt/studyofCDlongevity.pdf>

Shahani, Chandru J., Michele Youket and Norman Weberg. 2004a. *Compact Disc Service Life: An Investigation of the Estimated Service Life of Prerecorded Compact Discs*.

http://www.loc.gov/preservation/resources/rt/CDservicelife_rev.pdf

S. Allegranza, *L'affidabilità delle memorie ottiche per la conservazione a lungo termine*

---. 2004b. *The Effects of Laser Engraving on the Estimated Service Life of Pre-recorded Compacts Discs (CD-Rom)*.

http://www.loc.gov/preservation/resources/rt/LaserEngraving_rev.pdf

Slattery, Oliver, Richang Lu, Jian Zheng, Fred Byers e Xiao Tang. 2004. "Stability Comparison of Recordable Optical Discs - A Study of Error Rates in Harsh Conditions." *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Vol. 109, n. 5.

<http://www.loc.gov/preservation/scientists/projects/j95sla.pdf>

STEFANO ALLEGREZZA, Dipartimento di Storia e Tutela dei Beni Culturali, Università degli Studi di Udine.
stefano.allegrezza@uniud.it

Stefano Allegrezza. "L'affidabilità delle memorie ottiche per la conservazione a lungo termine dei documenti digitali". *JLIS.it*. Vol. 6, n. 2 (May 2015): Art: 11146. DOI: 10.4403/jlis.it-11146.

ABSTRACT: Optical media (such as CDs, DVDs and Blu-ray Disc) are probably among the most commonly used media for the preservation of digital records over time, especially in the case of digital archives whose producers are individuals, families or small to medium sized organizations. These media are fragile and it is important to know precisely how to manage them and which precautions should be taken in order to get reasonable assurance on their ability to preserve documents. This article aims to clarify what are the critical issues of optical media, how to take care of them and what are the strategies to be put in place to prevent the loss of documents that are stored on them.

KEYWORDS: *Digital preservation, Optical media, CDs, DVDs, personal digital preservation*

Submitted: 2015-02-12

Accepted: 2015-04-09

Published: 2015-05-15

