

La Digitalizzazione Documentaria

Realizzato nell'ambito del Progetto
Opere Gabinetto Disegni e
Stampe degli Uffizi in digitale



RINASCIMENTO
digitale

nuove
tecnologie
per i beni
culturali



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara"



Fondazione RINASCIMENTO
digitale
nuove
tecnologie
per i beni
culturali

La Digitalizzazione Documentaria

Franco Lotti

Giorgio Trumpy

Settembre 2007

LA DIGITALIZZAZIONE DOCUMENTARIA

è distribuito sotto licenza:

Creative Commons 2.5 (Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 2.5 Italia)
una licenza di tipo copyleft scelta per consentirne la libera diffusione.

Si riporta il testo in linguaggio accessibile, copia del testo integrale della licenza in:
<<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/it/legalcode>>



Tu sei libero:



di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera.

Alle seguenti condizioni:



Attribuzione. Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da chi ti ha dato l'opera in licenza.



Non commerciale. Non puoi usare quest'opera per fini commerciali.



Non opere derivate. Non puoi alterare o trasformare quest'opera, né usarla per crearne un'altra.

Ogni volta che usi o distribuisce quest'opera, devi farlo secondo i termini di questa licenza, che va comunicata con chiarezza.

In ogni caso, puoi concordare col titolare dei diritti d'autore utilizzi di quest'opera non consentiti da questa licenza.

Le utilizzazioni consentite dalla legge sul diritto d'autore e gli altri diritti non sono in alcun modo limitati da quanto sopra.

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
2	IL PROGETTO DI DIGITALIZZAZIONE	2
2.1	Obiettivi del progetto	2
2.2	Esame del materiale	3
2.3	Metodologia di acquisizione e scelta della strumentazione	3
2.4	Definizione del flusso di lavoro	4
2.5	Controllo della qualità delle immagini	4
2.6	Organizzazione e formato dei metadati	5
2.7	Scelta di formati standard	5
2.8	Accessibilità ed efficienza della consultazione	6
2.9	Analisi dei costi e piano di manutenzione	6
3	ORGANIZZAZIONE E FLUSSO DEI DATI	8
4	ALLESTIMENTO DELL'AMBIENTE DI RIPRESA	10
4.1	L'ambiente di lavoro	10
4.2	Attrezzatura di base	10
5	PARAMETRI DI ACQUISIZIONE E MEMORIZZAZIONE	12
5.1	Densità di campionamento	12
5.2	La profondità di colore	16
5.3	Il file di memorizzazione dei dati	17
5.3.1	Il formato RAW	18
5.3.2	I formati "definitivi"	20
5.3.3	I criteri per la scelta del formato per il file master	20

5.4	Valutazione sperimentale delle prestazioni del sistema	21
6	INFORMAZIONI LEGATE ALL'IMMAGINE	23
6.1	Regole di nomenclatura	23
6.2	Metadati	24
7	LA GESTIONE DEL COLORE	25
7.1	Introduzione	25
7.2	Calibrazione e creazione del profilo dei monitor (output)	25
7.3	Creazione del profilo colore di acquisizione (input)	26
7.4	Utilizzo dei profile colore	27
APPENDICE A	Misura della radiazione luminosa ed UV ed altre grandezze fisiche	30
APPENDICE B	Valutazione del potere risolutivo della fotocamera <i>CANON EOS-1 Ds Mark II</i> mediante test chart	32

1 INTRODUZIONE

Il presente lavoro rientra nell'ambito del progetto della *Fondazione Rinascimento Digitale* "Opere Gabinetto Disegni & Stampe in digitale" che ha visto coinvolti, insieme al Gabinetto Disegni & Stampe degli Uffizi, l'*Istituto di Fisica Applicata "N. Carrara"* (*Consiglio Nazionale delle Ricerche*); la presente veste finale deriva da un precedente documento interno a questo istituto (Report IFAC - RR-ESI.02.07).

Si intendono qui presentare alcune linee guida valide in generale in una campagna di digitalizzazione di beni artistici e documentari di formato *bidimensionale*, volta alla loro conservazione e valorizzazione.

Digitalizzare per conservare e diffondere cultura

L'Aprile del 2001 ha segnato una data importante per la cultura europea: a Lund, al termine di un convegno di esperti di tutta Europa sui contenuti digitali culturali, sono stati definiti i principi di base ed un piano di azione (*Lund Action Plan*) per realizzare meccanismi di coordinamento delle politiche di digitalizzazione in Europa, riconoscendo il ruolo importante che può svolgere la digitalizzazione di contenuti culturali per l'Europa, anche per "sostenere e promuovere le differenze culturali in uno scenario globale"¹.

A seguito di tali azioni, si è costituito il progetto europeo MINERVA²: un circuito di ministri della cultura degli stati membri, con il coordinamento dell'Italia, con lo scopo di realizzare i principi stabiliti a Lund, discutere, correlare ed armonizzare le attività di digitalizzazione di contenuti culturali e scientifici, creare raccomandazioni e linee guida concordate a livello europeo per le problematiche relative a:

- digitalizzazione
- metadati
- accessibilità
- conservazione.

Tra le più recenti attività nell'ambito di MINERVA menzioniamo la pubblicazione delle "Linee guida tecniche per i programmi di creazione di contenuti culturali digitali", a cui il presente documento fa costante riferimento³.

1 <http://cordis.europa.eu/ist/digicult/lund-principles.htm>

2 <http://www.minervaeurope.org>

3 http://www.minervaeurope.org/publications/technicalguidelines_it.htm

2 IL PROGETTO DI DIGITALIZZAZIONE

In questo capitolo sono richiamati i passi fondamentali per la definizione e lo sviluppo di un progetto di digitalizzazione di contenuti culturali. Nei capitoli successivi saranno sviluppati più estesamente gli aspetti tecnici e realizzativi, prendendo come caso di studio la realizzazione di un laboratorio di acquisizione con alcuni esempi applicativi.

Lo studio di fattibilità di un progetto di digitalizzazione deve partire dall'esame delle motivazioni che inducono ad investire risorse per un'azione di digitalizzazione di materiale culturale e da una chiara definizione degli obiettivi del progetto.

Quindi si prenderanno in considerazione gli aspetti relativi alla specificità del materiale da digitalizzare, quali la sua tipologia, consistenza, costituzione materica, nonché la disponibilità e il formato delle informazioni "al contorno" (metadati) relative.

Seguirà un esame degli aspetti più tecnico-scientifici, che partirà dalla definizione delle tipologie di destinatari (fruitori) e delle funzionalità attese, fino alla progettazione dell'architettura strumentale e dei programmi di gestione ed accesso all'informazione testuale e di immagine.

Infine dovrà essere pianificato un flusso di lavoro che regoli e gestisca tutte le attività operative e manageriali del progetto, ivi compreso un programma di manutenzione a medio e lungo termine per garantire la sostenibilità del progetto.

Un elenco sintetico degli aspetti più importanti che un progetto deve contemplare può essere il seguente:

1. Definizione degli obiettivi (conservazione, riproduzione, fruizione locale o remota)
2. Esame del materiale da digitalizzare
3. Metodologia di acquisizione e scelta della strumentazione
4. Definizione del work-flow con garanzie di sicurezza dei documenti
5. Controllo della qualità delle immagini acquisite
6. Organizzazione e formato dei metadati
7. Scelta di formati standard
8. Accessibilità ed efficienza della consultazione
9. Analisi dei costi e piano di manutenzione a medio e lungo termine.

2.1 Obiettivi del progetto

E' importante individuare e definire fin dall'inizio quali sono gli obiettivi principali del progetto di digitalizzazione. Da un'attenta disamina delle motivazioni culturali, gestionali ed economiche, sarà possibile definire chiaramente gli obiettivi principali del progetto, così da stabilire un ordine di priorità e valutare i limiti entro i quali esso dovrà essere gestito.

Tipicamente le motivazioni, e quindi gli obiettivi, possono essere:

- di ordine conservativo - evitare o ridurre drasticamente l'usura dei documenti dovuta alla consultazione degli originali;
- di ordine culturale - allargare l'accesso ad un'utenza più vasta e distribuita;
- di ordine scientifico o storico - consentire una ricerca più approfondita con l'ausilio di strumenti informatici di grande efficacia;
- di ordine economico - ove sia possibile ricavare un utile dalla consultazione o dall'acquisto di riproduzioni.

2.2 Esame del materiale

La tipologia del materiale da digitalizzare influisce sui criteri di progetto, soprattutto per la scelta degli apparati di acquisizione.

Si dovrà tener conto della materia costitutiva dei supporti (carta, pergamena, stoffa, papiro,...), della modalità di presentazione delle informazioni (manoscritto, stampa, disegno, incisione, mappa, sigillo,...), dell'eventuale legatura (rigida o morbida) e del relativo spessore ed angolo di massima apertura, dello stato di conservazione, della fragilità, della sensibilità all'esposizione luminosa, nonché ovviamente alle dimensioni ed alla consistenza. Tutti questi aspetti influiscono sulla scelta degli apparati di illuminazione e di ripresa che possono essere impiegati per raggiungere gli obiettivi rispettando tutti i vincoli di sicurezza e di trattamento imposti dalle caratteristiche del materiale.

2.3 Metodologia di acquisizione e scelta della strumentazione

Il processo di digitalizzazione deve avere il minimo impatto sul materiale acquisito: sarà quindi necessario scegliere opportunamente la metodologia di trattamento degli originali per garantirne la sicurezza in tutti gli aspetti. Un buon progetto di acquisizione d'immagini deve perciò coniugare vincoli ed obiettivi per poter scegliere, all'interno della vasta gamma di apparati di digitalizzazione oggi disponibili, un buon compromesso tra qualità e costi, rispettando tutte le limitazioni imposte dalla tipologia del materiale e dalle esigenze organizzative e gestionali.

Naturalmente prima di effettuare tale scelta occorre aver definito il livello di qualità minimo che si desidera ottenere, in termini di finezza di dettaglio e di capacità di restituire percezioni più o meno fedeli dell'originale.

Per quanto riguarda gli apparati di ripresa, la scelta spazia dagli scanner piani ai planetari con dorso a scansione e alle macchine fotografiche digitali, oggi giunte a livelli tecnologici soddisfacenti per molte applicazioni.

La scelta della metodologia e degli apparati di ripresa resta comunque un punto fondamentale per la determinazione della qualità delle immagini, per cui il fattore più determinante è rappresentato dalle caratteristiche del sensore.

Particolare attenzione va posta nella qualità delle immagini "master", cosiddette perché esse costituiscono il riferimento di massima qualità destinato alla conservazione a lungo termine. Da queste potranno derivare le versioni destinate alla fruizione di vario livello qualitativo, oppure le duplicazioni in nuovi formati emergenti per fare fronte ai futuri sviluppi tecnologici ed all'obsolescenza del software.

La qualità delle immagini attesa determina sia i requisiti hardware e software del sistema di ripresa, sia i tempi di acquisizione ed elaborazione, sia l'occupazione in termini di dispositivi di memorizzazione da gestire e da conservare: è quindi il più importante fattore per la determinazione dei costi.

I criteri di scelta della strumentazione devono perciò tener conto anche dei tempi di esecuzione, specialmente laddove il lavoro venga svolto da terzi, per cui il fattore tempo può essere determinante ai fini del costo globale del progetto.

2.4 Definizione del flusso di lavoro

Per un'efficiente conduzione di un progetto di acquisizione d'immagini si richiede di definire una dettagliata descrizione del flusso operativo (*work-flow*), studiata e verificata alla luce di tutte le considerazioni di tipo logistico, riguardanti la movimentazione dei documenti, e riguardanti la sequenza operativa che conduce alla produzione delle immagini correttamente acquisite, riferite e memorizzate.

Tipicamente sarà necessario pianificare la quantità e la tipologia dei materiali da consegnare periodicamente alla stazione di acquisizione; le operazioni di registrazione e di annotazione da effettuare per garantire la "tracciabilità" sia dei documenti che dei file che essi generano durante il percorso informatico, fino alla produzione del prodotto finale; i passi che l'operatore dovrà seguire per effettuare le riprese e per gestire i file numerici acquisiti (nomenclatura, verifica, memorizzazione, etc.); le misure atte a garantire sempre l'unicità e la correttezza dell'abbinamento documento-immagine; tutti gli accorgimenti mirati ad evitare errori accidentali, ivi comprese verifiche periodiche e incrociate.

2.5 Controllo della qualità delle immagini

E' buona norma sottoporre a controllo tutto il materiale acquisito, con particolare riferimento alle immagini destinate alla conservazione (master), tramite verifica manuale, oppure tramite procedure semiautomatiche o assistite. Le immagini master sono da conservarsi in formato non compresso oppure in formato compresso reversibile (senza perdita).

Per le immagini destinate alla fruizione si utilizzano generalmente metodi di compressione con perdita parziale di informazione. Interessanti sono i metodi multirisoluzione che oggi forniscono un mezzo di fruizione "progressiva" efficace, che consente di graduare la qualità dell'immagine visualizzata da livelli assai bassi, fino alla massima qualità (JPEG 2000, XL-Image®, Zoomify®, etc).

2.6 Organizzazione e formato dei metadati

Ogni collezione di materiali da digitalizzare è generalmente preceduta da una fase di "Catalogazione". Essa consiste nella registrazione, descrizione e classificazione di tutte le tipologie di beni culturali. Si tratta di individuare e conoscere i beni, documentarli in modo opportuno e archiviare le informazioni raccolte secondo precisi criteri.

I dati catalografici e comunque legati al contesto dell'oggetto digitalizzato, opportunamente organizzati in un formato concordato, costituiscono l'insieme dei metadati (Cap. 6).

Gli oggetti da avviare alla digitalizzazione dovrebbero di norma essere già catalogati; in mancanza di risorse catalografiche o inventariali preesistenti, la catalogazione avverrà nell'ambito del progetto di digitalizzazione. Essa consente infatti di stabilire un legame tra l'immagine acquisita e la collezione o il catalogo esistente ed è di estrema importanza ai fini della conservazione dell'originale e della fruizione, reperimento e interpretazione sia dell'originale sia della risorsa digitale che lo rappresenta.

L'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD), all'interno del Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MIBAC), definisce gli standard e gli strumenti per la Catalogazione e la Documentazione del patrimonio archeologico, architettonico, storico artistico e etnoantropologico nazionale⁴.

2.7 Scelta di formati standard

Sia per la codifica delle immagini, sia per quella dei metadati, è raccomandato l'impiego di formati standard o universalmente diffusi, per consentire la massima interoperabilità dei prodotti digitali.

Per le immagini master si utilizzeranno formati di larga diffusione e reversibili, come TIFF e PNG; per le immagini compresse viene ancora largamente utilizzato il formato JPEG eventualmente preceduto da procedure di sottocampionamento (*scaling*), mentre si fa strada il formato JPEG2000 (standard ISO) che consente un alto livello di flessibilità e progressività.

Per i metadati, in particolare per quelli amministrativi e gestionali (MAG), si raccomanda la generazione di file in formato XML, in accordo con particolari *schemi* messi a punto anche da istituzioni nazionali ed internazionali, quali l'ICCU (Cap. 6).

⁴ <http://www.iccd.beniculturali.it>

2.8 Accessibilità ed efficienza della consultazione

L'accesso alla base di immagini può avvenire attraverso una rete locale (LAN), generalmente con funzionalità di consultazione ad alta qualità dalla sala studio o dai terminali dell'istituzione depositaria, oppure attraverso l'accesso via Internet, generalmente gestito da un web server, che consente l'accesso alle immagini a qualità ridotta o controllata.

E' possibile progettare un sistema di fruizione remota (via web server) che sia in grado di esaminare il profilo dell'utente, così da differenziare varie tipologie di utenza (standard, registrati, accreditati, paganti, ...) ed associare a ciascuna di esse un diverso tipo di privilegi di accesso, quali ad esempio il livello massimo di qualità di immagini consentito a tale profilo.

Le tipologie di consultazione possono essere di tre tipi:

Navigazione: è la tipologia di consultazione che richiama quella tradizionale e consente di percorrere l'albero gerarchico del fondo digitalizzato, dalla radice attraverso i vari rami fino alle "foglie" costituite dai documenti, a loro volta collegabili alla serie di immagini relative.

Ricerca full text: consente una rapida ricerca di parole o stringhe di testo all'interno di tutto l'insieme dei dati testuali introdotti nella base dati, dando come risultato l'elenco dei documenti che la contengono.

Ricerca a chiave: consente di individuare gli oggetti che rispondono ad una maschera di ricerca basata su schede documentarie complesse, utilizzando varie funzionalità logiche, che forniscono un enorme valore aggiunto rispetto alla semplice ricerca per navigazione. Possono essere collegate a questo tipo di ricerca anche informazioni bibliografiche, elenchi di nomi, citazioni e documenti che vengono "collegati" ai vari campi delle schede documentarie.

2.9 Analisi dei costi e piano di manutenzione

Come già accennato, la qualità delle immagini rappresenta il maggior costo di un progetto di digitalizzazione, sia in termini di tempi di acquisizione e strumentazione impiegata, sia per la necessità di mantenere in linea e conservare in archivio una quantità di dati assai cospicua.

Nella fase di pianificazione dei costi di acquisizione i fattori più importanti sono costituiti dalla dimensione degli originali (oltre certe dimensioni il costo degli apparati necessari sale notevolmente, come per es. nel caso di certa cartografia), dalla necessità di riprodurre dettagli sottili in opere di dimensioni notevoli, dalla presenza di vincoli meccanici, quali l'impossibilità di aprire grossi volumi molto oltre i 90 gradi, infine dalla inamovibilità di certe opere, quali dipinti o tavole fissate a parete o affreschi.

Nell'analisi dei costi va inoltre presa in considerazione la manutenzione sia dell'hardware dedicato alla consultazione e all'aggiornamento delle basi di dati e immagini, sia dei supporti ottici o magnetici di memorizzazione,

sia infine del software di gestione e fruizione. Tutti e tre gli aspetti presentano seri problemi di prospettiva a lungo termine. A breve e medio termine si risolvono preventivando un costo per stabilire un programma di manutenzione programmata. Per i problemi a lungo termine non esistono soluzioni eccellenti: occorre preventivare il riversamento periodico dei contenuti su supporti "freschi" (ogni 5-10 anni) e, cosa assai più complessa, il trasferimento dei programmi di gestione e consultazione verso i nuovi sistemi operativi, prima che gli attuali divengano completamente obsoleti.

Contro l'obsolescenza software gli antidoti sono pochi: uso di standard (de jure o de facto), evitare il più possibile software proprietario, riuso del software, allineamento alle direttive internazionali che guidano al miglior approccio verso l'interoperabilità e la sostenibilità⁵.

⁵ <http://www.digitalpreservationeurope.eu>

3 ORGANIZZAZIONE E FLUSSO DEI DATI

Il processo di digitalizzazione prevede lo sviluppo di due tipologie d'informazione che nascono separatamente, ma che devono integrarsi concettualmente e materialmente per fornire un unico prodotto digitale. Ci riferiamo all'informazione costituita dalle immagini degli "oggetti" (dati immagine) ed a quella relativa a tutto quanto definisce, colloca, individua, descrive e in generale contestualizza gli oggetti stessi (metadati).

Nella Figura 1 si riporta uno schema esemplificativo, e in parte semplificato, dell'insieme dei due flussi informativi, con evidenziazione delle due tipologie di dati.

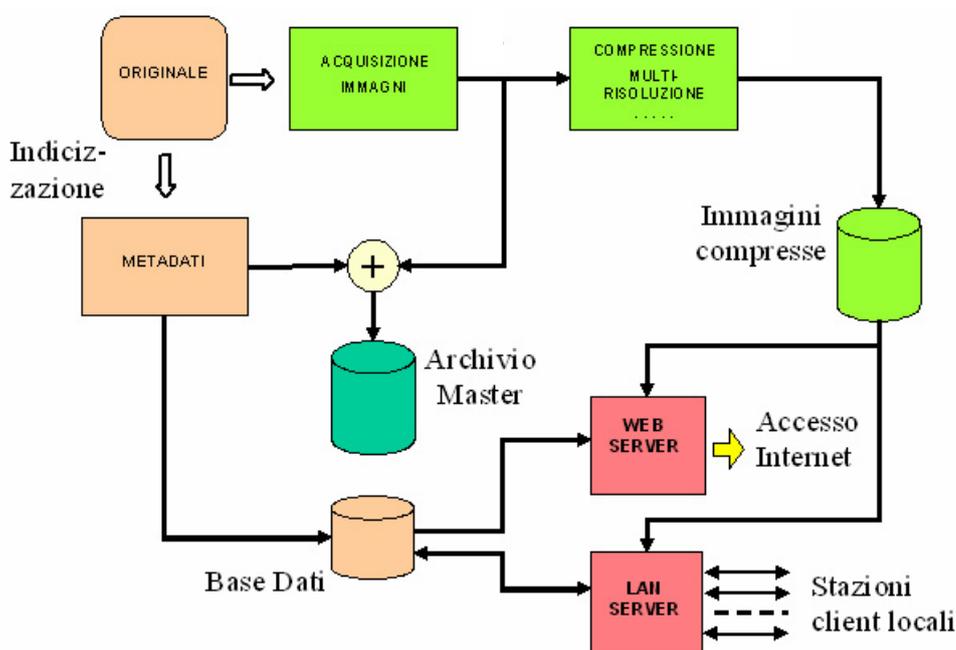


Figura 1 - Esempio di schema del flusso dei dati in un progetto di digitalizzazione.

La base di dati è il cuore del progetto di digitalizzazione, in quanto gestisce tutte le modalità di accesso alle informazioni. La facilità e chiarezza di navigazione attraverso l'albero gerarchico e le funzionalità di ricerca dei dati all'interno delle schede informative dei vari documenti determinano la qualità e l'efficacia della consultazione. Il riferimento alle immagini, che costituiscono la parte più appagante dal punto di vista della consultazione e più complessa e costosa in termini di spazio di memoria e di impegno di comunicazione, non è che l'epilogo di un processo logico che ha origine dai dati testuali e dall'intelligenza depositata nella struttura della base dati.

L'archivio master contiene le immagini non compresse e si avvale di un sottoinsieme di metadati per assegnare alle immagini stesse i riferimenti

agli originali. In alcuni casi vengono integrati nella stessa base di immagini anche i file XML contenenti i relativi metadati amministrati e gestionali (MAG).

Dopo l'acquisizione le immagini subiscono un procedimento di codifica (compressione) ad uso delle funzioni di consultazione successive, che si differenzia a sua volta tra fruizione locale ad alta qualità e fruizione remota, generalmente a bassa qualità, con la creazione di due basi di immagini distinte per i due scopi.

Nello schema di Figura 1 si ipotizza l'impiego di tecniche multirisoluzione per la codifica delle immagini destinate ad una fruizione "progressiva". Tale metodologia consente di gestire con un'unica base di immagini sia la fruizione a bassa qualità (web per utenti standard a "basso" profilo), sia quella ad alta qualità (locale, o web per utenti ad alto profilo oppure accreditati). Alcune varianti a tali tecniche di fruizione progressiva consentono di "parcellizzare" l'informazione, rendendola fruibile in aree limitate senza restrizioni di qualità all'interno di esse, ma rappresentando così un limite per l'uso improprio delle immagini fruite.

Nel seguito ci concentreremo soprattutto sulle funzioni relative al blocco indicato in Figura 1 con "Acquisizione immagini", responsabile della formazione e digitalizzazione delle immagini e della loro memorizzazione nell'archivio master.

4 ALLESTIMENTO DELL'AMBIENTE DI RIPRESA

4.1 L'ambiente di lavoro

Un presupposto necessario per eseguire correttamente le operazioni di acquisizione consiste nell'avere a disposizione lo spazio adeguato. Tale aspetto non va assolutamente messo in secondo piano dal momento che la scelta dello spazio di lavoro ricadrà in maniera significativa sulla qualità dei risultati.

Il locale in cui si dovranno svolgere le operazioni di acquisizione dovrà rispondere ai criteri di un normale laboratorio di ripresa fotografica (finestre oscurabili, pareti e pavimento che non spolverano, assenza di vibrazioni dovute a macchinari attigui od altro, condizionamento termico, etc...) e disporre di un impianto di alimentazione di corrente elettrica sufficientemente dimensionato.

La sala di ripresa deve essere sufficientemente ampia da consentire il libero movimento attorno alle apparecchiature e contenere, oltre agli apparati tecnici, anche uno o più piani di appoggio dove sistemare il materiale in transito, compilare i relativi registri di movimentazione e le annotazioni sulle operazioni svolte.

Qualora l'ambiente non sia climatizzato, dovrà anche essere sufficientemente areato onde evitare, nel corso delle ore, un sensibile aumento della temperatura a causa della dissipazione termica della strumentazione.

Attenzione andrà posta anche all'umidità relativa dell'ambiente, che non dovrà essere molto diversa da quella in cui viene conservato il materiale da digitalizzare. Differenze non superiori al 10% in più o in meno possono essere tollerate per la maggior parte dei materiali, purché non avvengano in maniera rapida.

Per questi motivi, nell'ambiente di lavoro dovrà essere installato un *termo-igrometro*, possibilmente grafico o comunque in grado di registrare le fluttuazioni a breve o medio termine.

4.2 Attrezzatura di base

Il **sistema di acquisizione** comprende la sorgente di luce, l'ottica, il sensore ed infine il software di acquisizione e di calibrazione. Ciascuna di queste componenti lascia una sua impronta sull'informazione che si vuole catturare, contribuendo a modificare il processo di trasferimento di informazione dall'oggetto da riprodurre alla sua rappresentazione numerica finale.

Il livello di qualità ottenibile alla fine di tale processo è dunque condizionato dall'insieme di tutte le limitazioni e distorsioni presenti nella catena di acquisizione.

Il sistema di acquisizione va scelto in funzione delle caratteristiche del materiale da digitalizzare, degli intenti del progetto e dell'entità delle risorse disponibili.

Più precisamente si devono valutare:

- le dimensioni del singolo esemplare,
- la presenza o meno su di esso di dettagli fini,
- la minima qualità adeguata per le immagini acquisite in relazione all'uso che ne verrà fatto,
- la consistenza totale dei documenti da acquisire,
- le risorse economiche stanziare per il progetto.

Tipicamente, una prima decisione, che condiziona pesantemente le procedure di allestimento della strumentazione e di esecuzione delle acquisizioni, consiste nella scelta fra le seguenti "macro-famiglie":

- *Scanner piani,*
- *Scanner o fotocamere digitali a planetario.*

La scelta può cadere su uno scanner piano qualora gli oggetti che devono essere scanditi non si danneggino se distesi capovolti ed eventualmente premuti su una superficie piana (ad es. lettere o documenti cartacei non rilegati). In questo caso sia il piano di ripresa che la sorgente di illuminazione sono integrati con il sistema di acquisizione; per questo motivo tale scelta risulta essere molto conveniente in quanto, una volta che ci si è procurati lo scanner, il sistema di acquisizione è già completo.

Quando si tratta di documenti delicati, la cui fragilità induce a manipolarli il meno possibile, si sceglie di distendere questi ultimi su un piano orizzontale e di acquisirne l'immagine riprendendoli dall'alto (planetario). In questo caso occorre anzitutto disporre il materiale da acquisire su apposite strutture e illuminarlo correttamente. Nel caso in cui tale materiale consista di singoli fogli o fascicoli di pochi fogli, sarà sufficiente un semplice banco piano; altrimenti saranno necessari banchi progettati per il trattamento di oggetti specifici, quali quelli con semipiani separati e basculanti per i grossi volumi rilegati. Per i volumi che non possono essere aperti molto oltre i 90° esistono sistemi specifici di alloggiamento adatti allo scopo.

È necessario inoltre fissare l'attrezzatura di acquisizione ad un opportuno stativo che garantisca stabilità e posizionabilità.

Un **sistema di illuminazione** di buona qualità deve garantire uniformità e continuità nel tempo dell'intensità luminosa e la copertura il più possibile uniforme della banda del visibile.

Inoltre, al fine di garantire la tutela degli oggetti digitalizzati, è molto importante che siano ben filtrate le radiazioni dell'ultravioletto e dell'infrarosso termico emesse dagli illuminatori.

A prescindere dalle scelte fatte, il laboratorio dovrà essere dotato di un **computer** con caratteristiche adeguate a elaborare le immagini, dotato di un **monitor** di alta qualità.

5 PARAMETRI DI ACQUISIZIONE E MEMORIZZAZIONE

Il progetto di digitalizzazione mira alla creazione, per ciascun oggetto acquisito (pergamena, stampa, incisione, etc.), di un'immagine digitale di tipo *raster*; quest'ultima, in generale, è un insieme di dati numerici che si realizza in una matrice di punti colorati, detti *pixel* (sintesi di *Picture Element*). Tale matrice, se correttamente visualizzata, dovrà produrre un effetto visivo il più possibile simile a quello prodotto dall'oggetto osservato frontalmente in condizioni di illuminazione ideali.

5.1 Densità di campionamento

L'acquisizione, ossia la costruzione della matrice di pixel a partire da un originale fisico, avviene generalmente per righe nei dorsi a scansione e negli scanner piani, o in un'unica istantanea negli apparati digitali cosiddetti FPA (*Focal Plane Array*), quali ad esempio le fotocamere digitali.

Prima di acquisire la matrice immagine è necessario stabilire con quanti punti è opportuno riprodurre l'unità di lunghezza; in altre parole, quanti pixel rappresentano un pollice⁶ dell'originale. Il numero di questi pixel si chiama densità di campionamento spaziale (o frequenza di campionamento) e si indica con l'abbreviazione *ppi* (*pixel per inch*). Comprensibilmente, maggiore è il numero dei ppi, maggiore sarà il livello di dettaglio acquisito (Figura 2)⁷.

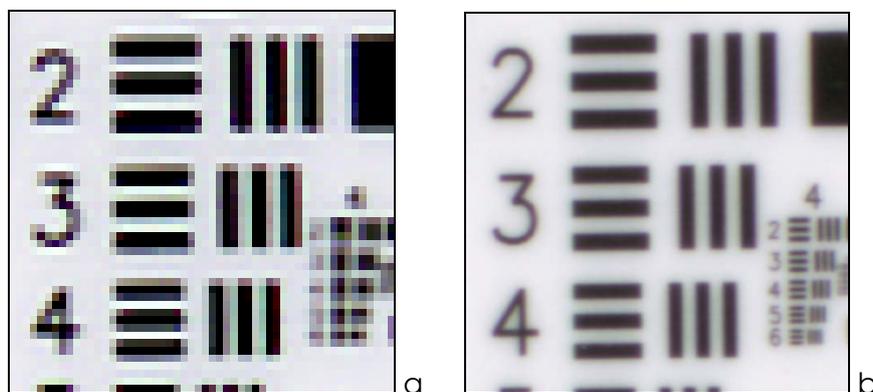


Figura 2 - La medesima porzione del medesimo oggetto acquisito da uno scanner piano con densità di campionamento diverse. a) 550 ppi, b) 4800 ppi

La scelta del sistema di acquisizione da usare determina il numero massimo di righe e colonne della matrice di pixel che rappresenta

⁶ Un pollice (inch) equivale a 2,54 centimetri.

⁷ Non è superfluo sottolineare che le lunghezze a cui si fa riferimento vengono misurate sul piano dell'oggetto; non ha senso parlare di densità di campionamento per la ripresa di una scena con profondità (ad es. un paesaggio).

l'originale⁸; se, ad esempio, abbiamo scelto una fotocamera digitale, questa sarà dotata di un sensore CCD (*charge coupled device*) con un determinato numero di righe e di colonne. È da tener presente che, a parità di prezzo, gli scanner piani sono in grado di produrre immagini digitali molto più grandi (con un numero totale di pixel più elevato) degli scanner e delle fotocamere digitali a planetario.

Con la matrice a disposizione deve essere possibile rappresentare tutti gli esemplari da acquisire con sufficiente livello di dettaglio. Nel caso molto comune in cui gli originali abbiano dimensioni diverse, si pone necessariamente una scelta:

- si può decidere di acquisire tutte le immagini alla medesima densità di campionamento
- oppure sfruttare sempre tutta la matrice del sensore.

Segue un esempio che dovrebbe aiutare a chiarire. Devono essere digitalizzate due stampe di diverso formato: la prima misura 30x20 cm mentre la seconda 45x30 cm. È stata scelta una fotocamera con un sensore CCD da 6000x4000 pixel⁹.

Se si sceglie di tenere fissa la densità di campionamento questa andrà ricavata a partire dall'esemplare più grande, che sfrutterà tutta la matrice del sensore; per gli altri esemplari più piccoli sarà utilizzata solo una porzione di esso. Nel caso della fotografia, questo si traduce nel mantenere la stessa inquadratura (la distanza ottica-oggetto) sostituendo l'originale successivo dopo lo scatto. Nell'esempio in esame la densità di campionamento sarà data dal rapporto fra il numero di pixel del lato lungo (o corto) del sensore e le dimensioni (in pollici) del lato lungo (o corto) dell'originale più grande: nel nostro caso circa 340 ppi.

Seguendo questo criterio la digitalizzazione di una collezione sarebbe caratterizzata da una totale coerenza fra la grandezza dell'immagine digitale e le dimensioni dell'esemplare originale; inoltre, il livello di dettaglio presente nelle immagini sarebbe lo stesso per tutti gli oggetti acquisiti, conferendo omogeneità al materiale digitale prodotto.

Se altrimenti si sceglie di sfruttare sempre il sensore nella sua totalità, la densità di campionamento dipenderà dalle dimensioni del singolo esemplare. Nel caso della fotografia, questo si traduce nel cambiare ogni volta l'inquadratura (la distanza ottica-oggetto) in modo che l'oggetto occupi tutto lo spazio inquadrato. Nell'esempio precedente la densità di campionamento di ogni acquisizione sarà data dal rapporto fra il numero di pixel del lato lungo (o corto) del sensore e le dimensioni in pollici del lato lungo (o corto) di ciascun originale: nel nostro caso circa 340 ppi per l'esemplare di formato più grande e 508 ppi per l'esemplare più piccolo.

Seguendo questo criterio, escludendo eventuali ritagli effettuati in una fase successiva, la digitalizzazione di una collezione sarebbe

⁸ A meno di operazioni di mosaicatura.

⁹ Per semplicità sono stati scelti formati delle stampe con il medesimo rapporto dimensionale 2:3 del sensore.

caratterizzata da immagini della stessa dimensione in termini di pixel acquisiti, le quali conterranno tanti più dettagli quanto minori sono le dimensioni dell'originale acquisito. È da tener presente che, per ogni acquisizione, sarà necessario aggiustare l'inquadratura dell'oggetto; d'altro canto saranno sfruttate al massimo le possibilità del sistema di acquisizione scelto.

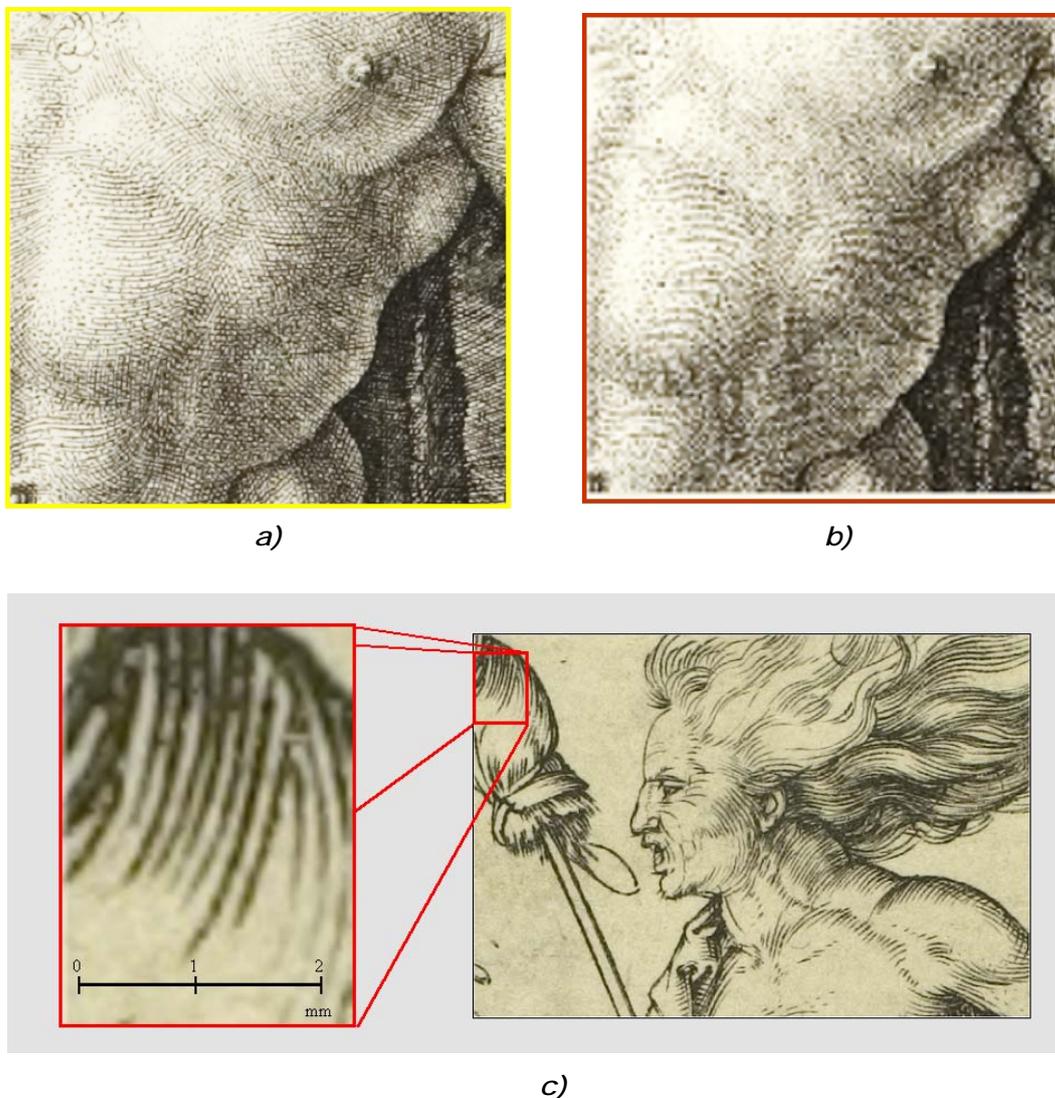


Figura 3 – Dettaglio di incisioni di Albrecht Dürer. a) Particolare di incisione campionata a 400 ppi; b) lo stesso particolare campionato a 200 ppi mostra la presenza dell'effetto moiré. c) Stima della densità di linee per millimetro.

La densità di campionamento è spesso, erroneamente, confusa con il termine *risoluzione*.

La risoluzione di uno strumento di misura rappresenta la minima variazione apprezzabile della grandezza in esame. In un sistema di acquisizione di immagini tale termine può essere inteso come la distanza minima D fra due linee ben contrastate (linee scure su fondo chiaro o viceversa) tale che queste ultime possano essere percepibili come distinte.

Il numero di campioni per pollice e la risoluzione sono legati tra loro giacché, aumentando la densità di campionamento, diminuisce la distanza D e quindi aumenta la possibilità di rappresentare fini dettagli presenti nell'oggetto che si vuole riprodurre. Ad esempio un'immagine a contorni morbidi e poco contrastata potrà essere campionata a minor densità di una che contiene fitti tratti scuri su fondo chiaro.

Le immagini che presentano andamenti periodici della luminosità, come un tratteggio o una refinitura, che non siano state campionate con sufficiente densità, producono un caratteristico fenomeno di battimento noto come *moiré*, consistente nella comparsa di una specie di 'ondulatura' inesistente nell'originale (Figura 3a e 3b). Esso è dovuto al fenomeno di *aliasing* originato dal sottocampionamento delle frequenze spaziali più elevate, per le quali non si rispetta il criterio di Nyquist¹⁰.

Una valutazione della finezza dei dettagli presenti nell'immagine, con l'ausilio di una lente d'ingrandimento con una scala millimetrata, ci può dare un limite inferiore per la determinazione della densità di campionamento da adottare. Ad esempio l'incisione presentata in Figura 3 è eseguita con un tratteggio che arriva a presentare fino a 5 tratti in un millimetro, corrispondenti a 125 tratti/pollice. A livello del tutto teorico, la minima densità di campionamento che garantisce la risoluzione sufficiente ad acquisire quantomeno la corretta *frequenza* di questo tratteggio è $125 \times 2 = 250$ ppi.

Nella pratica si verifica che questa densità limite non è sufficiente a garantire questa risoluzione, a causa di vari altri fattori caratteristici del particolare sistema di acquisizione. Tali fattori sono in parte dovuti alle approssimazioni del modello teorico, ed in parte sono legati alla fisica del sensore (rumore, corrente di buio, risposta dei singoli elementi e correlazione tra essi) e alle limitazioni dell'ottica.

Per queste ragioni l'immagine riportata nell'esempio è stata acquisita a 550 ppi, quindi a più del quadruplo della frequenza spaziale del tratteggio, che, come si vede nel dettaglio ingrandito, è rappresentato senza la presenza dell'effetto *moiré* (Figura 3c).

È bene tener presente che il numero di pixel che costituiscono l'immagine cresce quadraticamente con la densità di campionamento: un'immagine ripresa a 600 ppi conterrà 4 volte il numero di pixel della stessa immagine ripresa a 300 ppi.

Il numero di pixel di un'immagine è ovviamente legato al numero di byte che costituiscono il *file* risultante (l'insieme dei dati informatici relativi all'immagine) e rappresenta un fattore di costo in termini di ingombro, dispositivi di memorizzazione, tempi di elaborazione e banda di comunicazione. Tali considerazioni suggeriscono di limitare la densità di

¹⁰ La teoria dell'informazione indica come frequenza minima di campionamento il doppio della frequenza massima presente nel segnale da campionare (teorema del campionamento di Shannon). Il criterio di Nyquist impone appunto il rispetto di un fattore maggiore di 2 nel rapporto tra frequenza di campionamento e frequenza massima del segnale. Il mancato rispetto di questo criterio introduce distorsioni nel segnale campionato che appaiono come presenza di "alias" non desiderati (aliasing).

campionamento a quella necessaria a rappresentare i dettagli richiesti, per evitare di dover elaborare e memorizzare quantità ingestibili di dati.

Determinare il livello massimo di dettaglio che interessa registrare di una collezione d'immagini, e in base a questo stimare la densità di campionamento necessaria (pixel/pollice) non è generalmente cosa facile. Tanto meno se non è possibile analizzare ciascuna immagine prima di fissare i parametri dell'acquisizione.

Nel caso della digitalizzazione di materiale fotografico ci si può riferire alle caratteristiche del supporto (carta fotografica, pellicola), considerando come frequenza massima quella potenzialmente rappresentabile con quel tipo di supporto.

Più complesso è il caso di materiale documentario originale. Si può ricorrere in tali casi ad una selezione di esempi significativi dell'insieme da digitalizzare, analizzando alcuni originali scelti a rappresentare classi omogenee per tipologia, con particolare riferimento alla presenza di dettagli più sottili.

5.2 La profondità di colore

È stato detto che un'immagine digitale a colori di tipo raster è, in generale, un insieme di dati numerici che si realizza in una matrice di pixel. Il colore di ciascun pixel, quando questo viene visualizzato, ad esempio in un monitor, viene creato attraverso la fusione (sintesi additiva) di tre colori primari: un rosso (*canale R*), un verde (*canale G*) e un blu (*canale B*). Questi tre colori (le cui precise tonalità variano da monitor a monitor) costituiscono la base di un sistema di rappresentazione chiamato *RGB* in cui ogni colore è rappresentato da una miscela dei tre primari, detti *canali*, ciascuno presente con una determinata intensità. L'insieme dei colori realizzabili attraverso questo sistema si dice *gamut*. Il caso particolare in cui i tre canali assumano lo stesso valore di intensità ($R=G=B$) corrisponde alla scala dei grigi.



Figura 4 - Sensore a matrice: righe e colonne di fotorecettori

I sensori dei sistemi di acquisizione sono costituiti da un insieme di dispositivi elettronici chiamati *fotorecettori*, capaci di rilevare l'intensità della luce che ricevono, traducendola in corrispondenti segnali elettrici.

Quando viene acquisita un'immagine a colori, il sensore rileva per ogni pixel, attraverso un opportuno sistema di filtraggio della luce, tre diverse intensità luminose: tali intensità rappresentano i tre primari RGB letti nel punto corrispondente dell'oggetto originale¹¹.

Un'importante caratteristica fisica di un sensore è la *Gamma Dinamica*; questa grandezza è definita come la differenza tra il massimo segnale generato dal fotorecettore (livello di *saturazione*) e il più piccolo segnale che questo produce in assenza di stimoli esterni, ovvero il suo *rumore di fondo o corrente di buio*.

A valle del sensore un dispositivo elettronico, chiamato *convertitore analogico-digitale (A/D)*, traduce in forma numerica i tre segnali elettrici prodotti, rappresentandoli con un numero finito di cifre binarie (*bit*) atte a rappresentare un numero finito di intervalli di intensità; si passa quindi da un segnale che varia con continuità ad un insieme di livelli discreti.

L'ampiezza di questi intervalli discreti, in termini di intensità luminosa, dipende da quanti livelli sono messi a disposizione dal convertitore A/D per descrivere le intensità registrabili, ossia quelle inferiori al livello di saturazione; minore sarà l'ampiezza di questi intervalli, tanto maggiore sarà l'accuratezza con cui verrà riprodotto il colore. Un convertitore A/D a 8 bit avrà a disposizione 2^8 livelli discreti, distribuirà quindi i valori di uscita del nostro sensore in 256 livelli per ogni canale; un convertitore A/D a 16 bit tradurrà i valori di ingresso utilizzando 65536 livelli (2^{16}).

Si parlerà quindi di *profondità di colore* espressa come numero di bit per pixel (*bpp*), cioè quante cifre binarie sono utilizzate per rappresentare, fra lo zero e la saturazione, tutte le gradazioni di intensità luminosa del canale.

Con 8 bit per canale, ad esempio, si possono rappresentare $2^8=256$ diversi livelli di intensità per ognuno dei tre canali, che si traducono in più di 16 milioni ($2^{(8 \times 3)}$) di loro combinazioni, ciascuna delle quali esprime un diversa gradazione o tonalità di colore.

La scelta del sistema di acquisizione da usare quindi, oltre a determinare, come si è detto, il numero massimo delle righe e delle colonne della matrice di pixel che rappresenta l'originale, determina anche la massima accuratezza con cui viene riprodotto il suo colore.

5.3 Il file di memorizzazione dei dati

Quando si memorizza su disco un'immagine acquisita per archivarla, e averla disponibile per una futura visualizzazione o elaborazione, oppure per trasferirla ad un altro utente, è necessario scegliere un formato nel quale registrare i dati; quest'ultimo deve essere scelto sulla base della destinazione d'uso del file stesso.

Per l'archiviazione a lungo termine (*file master*) si segue il criterio di massima informazione e massima oggettività. Si sceglieranno quindi, compatibilmente con i limiti d'ingombro e di costo, formati senza perdita

¹¹ In realtà in molti sistemi, cosiddetti *interpolati*, i sensori non misurano effettivamente le tre componenti primarie per ciascun pixel, bensì misurano una sola componente e ricavano le altre due per interpolazione dei valori circostanti (vedi cap. 5.3.1).

d'informazione e senza interventi di elaborazione che introducano distorsioni o esaltazioni "soggettive" di certi attributi delle immagini (contrasto, luminosità, colore).

Si consiglia di utilizzare formati compressi o elaborati per ottenere maggiore leggibilità, solo per la consultazione o per altri usi specifici.

Approfondimento: il formato RAW

La quasi totalità delle fotocamere digitali impiega sensori a matrice con *interpolazione*. Questi sensori non misurano effettivamente le tre componenti primarie per ciascun pixel, bensì misurano una sola componente e stimano le altre due in base ai valori circostanti.

Ogni pixel del sensore è realizzato da un dispositivo elettronico chiamato *fotorecettore*.

Di per sé questo dispositivo è in grado di misurare esclusivamente l'intensità della luce che riceve, senza riconoscere le lunghezze d'onda. Potremmo dire che il fotorecettore "conta" il numero totale dei fotoni senza distinguere la loro energia. Senza opportune strategie, l'immagine registrata dal sensore si presenterebbe in toni di grigio.

Per realizzare un'immagine a colori è necessario posizionare sopra la matrice di fotorecettori, una matrice di filtri colorati. Nella maggior parte delle fotocamere digitali la disposizione dei filtri è quella illustrata nella seguente immagine.

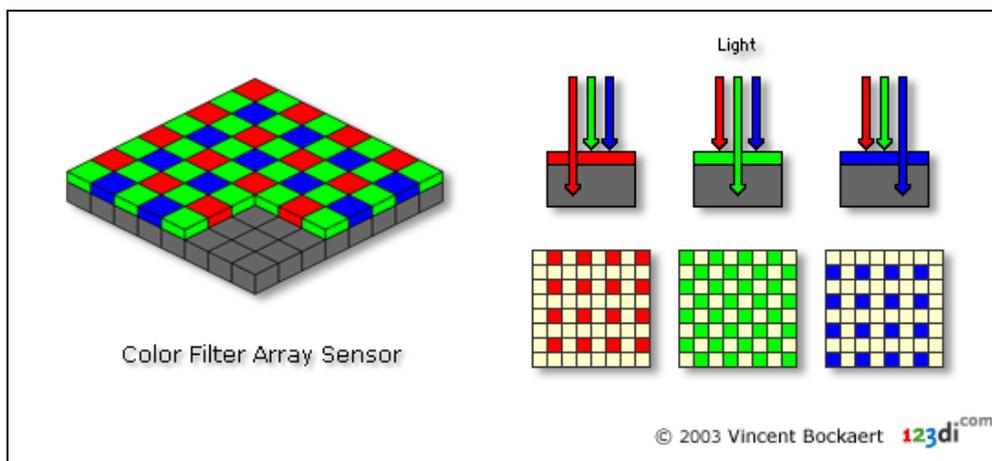
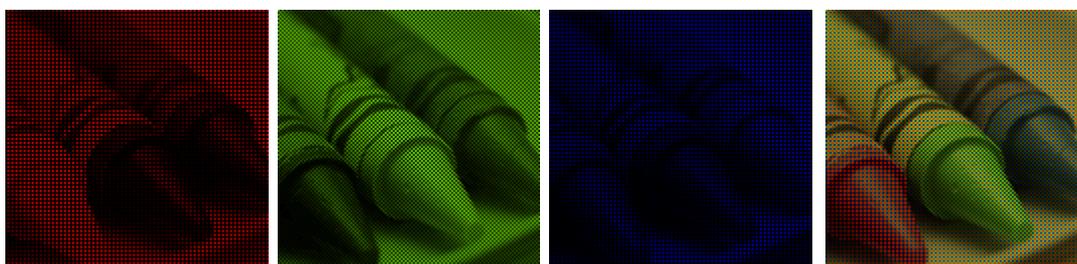


Figura 5 - Sensore a matrice con un "color filter array" (CFA)

In questo modo i sensori hanno il 25% dei fotorecettori capaci di misurare l'intensità della componente rossa della luce che ricevono, un altro 25% misurano l'intensità della componente blu e il restante 50% misura l'intensità della componente verde¹².



Canale rosso
(25% dei pixel)

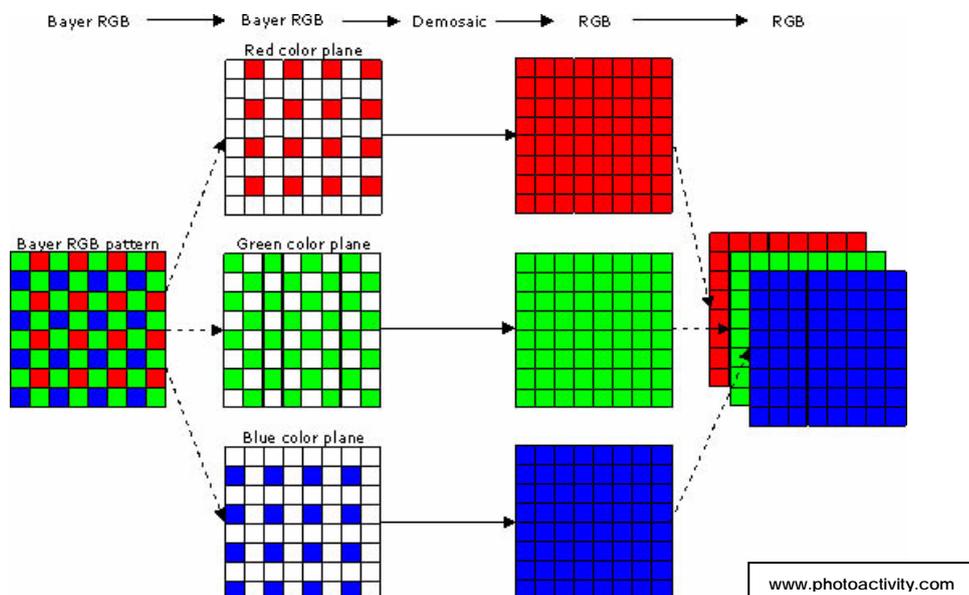
Canale verde
(50% dei pixel)

Canale blu
(25% dei pixel)

Immagine combinata

Questo significa che ogni pixel del sensore contiene l'informazione relativa ad uno solo dei tre canali.

Per ottenere l'immagine a colori finale è necessaria un'operazione di interpolazione come quella presentata nella figura seguente (*demosaicing*).



A seguito di questa operazione ogni pixel contiene l'informazione cromatica completa.



I tre canali dopo l'interpolazione

Immagine combinata

Il software associato al sensore (generalmente proprietario) permette di ottenere in uscita un *file* finale a 3x8 bpp, già interpolato, rielaborato e corretto secondo criteri di "ottimizzazione" o "gradevolezza" delle immagini stabiliti dal costruttore.

Le fotocamere digitali di classe alta danno la possibilità di avere in uscita il formato nativo a 3x16 bpp, non ancora rielaborato né interpolato, contenente i dati così come essi sono usciti dal convertitore A/D. Questo formato viene detto "RAW" (grezzo) in quanto richiede un'ulteriore elaborazione per fornire l'immagine finale.

Si suggerisce di estrarre il file in formato RAW ed effettuare le elaborazioni necessarie per generare il formato definitivo attraverso specifiche

12 Nella percezione del colore la zona spettrale alla quale siamo più sensibili corrisponde al verde: questo è il motivo per cui i fotorecettori verdi sono il doppio degli altri

applicazioni (ad es. *Adobe Camera Raw*) che consentono sia di sfruttare tutte le variazioni tonali che offre il sensore (quantizzato generalmente a 16 bit), sia di effettuare una migliore calibrazione del colore.

5.3.1 I formati “definitivi”

Il formato *TIFF* è un formato standard, leggibile da qualsiasi applicativo. Il vantaggio di utilizzare questo formato per archiviare le immagini acquisite, risiede nel fatto che esse non avranno bisogno di nessun tipo di conversione, e potranno essere immediatamente impiegate. Anche il livello qualitativo è molto elevato: questo formato consente la memorizzazione dei dati in forma non compressa, o compressa con algoritmi che non comportano alcuna perdita d'informazione (algoritmi *lossless*).

Il formato *JPEG*, è un formato compresso: al fine di ottimizzare lo spazio di memoria necessario per registrare l'immagine, i dati dell'immagine vengono compressi con un algoritmo che elimina informazioni considerate superflue. Generalmente lo si usa nella versione con perdita di qualità (*lossy*) a vario grado di compressione. Questo formato è, in definitiva, molto adatto per immagini che devono essere fruite localmente o via internet, ma non per archiviazioni di lungo periodo.

Una versione sostanzialmente più evoluta di *JPEG* è il *JPEG2000*, che, oltre a fornire prestazioni qualitative migliori a parità di compressione rispetto a *JPEG*, consente un'ampia flessibilità di progettazione e di fruizione, quali la possibilità di scalare qualità e risoluzione delle immagini visualizzate, definire sottoinsiemi dell'immagine da comprimere in modo differenziato (es.: miniature in pagine di testo), inglobare i metadati nel formato immagine, gestire il livello di qualità in funzione del profilo utente.

RAW + JPG, questo non è propriamente un formato ma una modalità di scatto. In questo caso infatti la macchina salva sia un file in modalità *RAW* che un file corrispondente *JPG*. Se non esistono problematiche di spazio sul dispositivo di memorizzazione (memory card o similari), è senza dubbio una modalità da prendere in considerazione e che in alcuni casi può snellire notevolmente il workflow, specialmente quando si scatta in modalità stand alone.

5.3.2 I criteri per la scelta del formato per il file master

Riepilogando, per la conservazione di lungo periodo si consiglia di archiviare le immagini in un formato che abbia i seguenti requisiti:

1. sia un formato pubblico;
2. conservi al massimo tutte le informazioni dell'acquisizione originale.

I vari produttori di fotocamere digitali hanno implementato formati *RAW* proprietari differenti; il primo requisito fa scartare l'utilizzo del formato *RAW* proprietario del sistema di acquisizione in questione. Esistono infatti già dei problemi, a distanza di pochi anni, nel convertire alcuni formati *RAW* di vecchia generazione.

Il secondo requisito sconsiglia di utilizzare formati caratterizzati da forme di compressione *lossy*, vale a dire con perdita di informazione.

Rimangono quindi due strade:

- conversione in un formato pubblico RGB a 16 Bit per canale (TIFF o PNG a 16 Bit),
- conversione in un formato RAW pubblico a 16 Bit (DNG).

La prima strada è sicuramente la più sicura, ma occorre tener presente che i file TIFF a 16 Bit sono assai costosi in termini di spazio occupato sul disco (circa tre volte rispetto ad un formato RAW).

La seconda strada prevede di convertire il formato RAW proprietario in un formato RAW pubblico.

Al momento esiste solo il formato promosso da *Adobe*¹³ che corrisponda a queste caratteristiche, chiamato DNG. Questo formato risponde a tutte le caratteristiche necessarie, con la sola preoccupazione di sapere, a distanza di qualche anno da oggi, se la pressione commerciale di Adobe sarà stata sufficiente a farlo diventare uno standard *de facto*¹⁴.

Fin qui è stato analizzato il caso delle immagini a colori; è frequente in un progetto di digitalizzazione avere a che fare con documenti, come certi periodici, dei quali è importante acquisire solo il testo e non il suo colore. In questo caso sarà sufficiente memorizzare un file in scala di grigi, utilizzando un solo canale per pixel (luminosità), risultante dalla media dei tre canali RGB; l'ingombro del file ottenuto sarà circa tre volte minore rispetto all'equivalente immagine a colori.

5.4 Valutazione sperimentale delle prestazioni del sistema

Nella determinazione dei parametri di acquisizione e memorizzazione, che dipendono dai dati di progetto, si cerca di tenersi sempre al di sopra degli stretti requisiti teorici, per compensare alcune delle inevitabili approssimazioni insite nel passaggio dalla teoria alla pratica.

È bene sottolineare che l'intero sistema è affetto da numerose altre cause di errore sulle quali i parametri suddetti non hanno influenza diretta. Tra queste vi sono le aperture finite degli obiettivi, i tempi finiti di esposizione, il rumore termico ed elettronico che è sempre presente nei sensori, l'efficienza di questi in funzione dell'intensità e della lunghezza d'onda della luce incidente, le fluttuazioni di intensità degli illuminatori, le vibrazioni meccaniche, etc.

Da questo elenco sommario emerge un quadro abbastanza complesso delle cause di degrado del segnale "ideale" che influiscono sulla qualità dell'immagine numerica. Tener conto di tutti i fattori non è semplice e può non essere sempre fattibile.

¹³ Azienda informatica americana leader nel settore.

¹⁴ Altre soluzioni sarebbero disponibili, quali la conversione in formato progressivo JPEG2000 senza perdita; tuttavia restano a tutt'oggi ancora alcune perplessità sulla diffusione di questo formato in forma aperta.

Va notato comunque che la qualità dell'immagine digitalizzata è solo in parte garantita da una corretta definizione dei parametri di "densità di campionamento" (ppi) e di "profondità di colore" (bpp) e dalla corretta scelta del formato di memorizzazione.

Per questi motivi è utile valutare le prestazioni globali del sistema in termini di risoluzione spaziale, a valle di tutte le operazioni; questo è possibile con l'ausilio di opportune carte di riferimento (test charts) e di procedure specifiche di calibrazione.¹⁵

15 Approfondimenti in appendice B

6 INFORMAZIONI LEGATE ALL'IMMAGINE

6.1 Regole di nomenclatura

Molto spesso il software che gestisce il sistema di acquisizione nomina automaticamente i file con un codice numerico progressivo. Mantenere questo nome è estremamente azzardato perché si rischia di perdere il legame fra le immagini e gli oggetti che queste rappresentano o addirittura, nell'arco di poche sessioni di acquisizione, di trovarsi ad avere file diversi con lo stesso nome.

Prima di iniziare con le acquisizioni è necessario quindi stabilire un preciso criterio di nomenclatura (*naming*) dei file che verranno prodotti.

Il criterio di nomenclatura più opportuno andrà concordato con i soggetti responsabili in relazione alla specifica collezione; in generale il nome di ciascun file dovrà essere una stringa di caratteri composta da più parti, avente in essa le informazioni necessarie ad identificare in maniera univoca l'elemento della collezione a cui l'immagine si riferisce.

Di seguito viene esposto un esempio di una possibile stringa costituita di quattro parti (tre parti più l'estensione):

siglaENTE-stringaELEMENTO-stringaIMMAGINE.estensione

siglaENTE

Questa parte del nome sarà l'acronimo dell'ente, dell'istituzione o dell'azienda proprietaria della collezione.

stringaELEMENTO

È il codice univoco attribuito dall'Ente allo specifico elemento della collezione stabilito sulla base del proprio sistema di catalogazione.

stringaIMMAGINE

Stringa alfanumerica contenente il numero progressivo dell'immagine relativa a un'opera ed eventuali altre informazioni codificate in una legenda relative al tipo di immagine (es: R≡recto, V≡verso,) e l'utilizzo di quest'ultima (es: A≡immagine per l'archiviazione, C≡codice riservato alle foto di target colore, P≡immagini post-processate per la stampa, E≡immagini di provenienza esterna, e altri codici da definire).

estensione

Sigla del tipo del formato immagine (.tif, .jpg, .png, .dng, ...).

6.2 Metadati

I formati di file utilizzati per memorizzare le immagini digitali possono incorporare, oltre ai dati dell'immagine stessa, una serie di informazioni aggiuntive relative sia ad essa che all'oggetto o documento rappresentato. Tali informazioni (*metadati*) rappresentano un corredo indispensabile per rendere i contenuti informatici reperibili facilmente e fruibili correttamente. Il grosso vantaggio di utilizzare questa modalità di memorizzazione dei metadati consiste nel renderli inseparabili dall'immagine a cui si riferiscono.

L'ICCU, Istituto Centrale per il Catalogo Unico delle Biblioteche Italiane e per le Informazioni Bibliografiche, ha costituito nel 2000 un Gruppo di studio sugli standard e le applicazioni di metadati nei beni culturali a cui hanno partecipato rappresentanti di biblioteche nazionali, musei e archivi. Il Gruppo è nato con l'obiettivo di coordinare a livello nazionale le implementazioni di metadati nei progetti di digitalizzazione nei diversi settori dei beni culturali e di raccordare le iniziative italiane con quelle europee e internazionali.

Per tale argomento si rimanda direttamente al documento prodotto dal Gruppo, presente in rete al seguente indirizzo:

<http://www.iccu.sbn.it/upload/documenti/Manuale.pdf>

7 LA GESTIONE DEL COLORE

7.1 Introduzione

Con *Color Management* (gestione del colore) si intendono tutte quelle procedure e tecnologie volte a garantire la corretta consistenza cromatica di un'immagine digitale nel suo passaggio attraverso diversi mezzi di visualizzazione, siano essi monitor, stampanti, proiettori.

Il colore dei fosfori di diversi monitor, come quello degli inchiostri di diverse stampanti sono differenti, per cui lo stesso file immagine produrrà colori diversi a seconda che sia visualizzato su un monitor piuttosto che su un altro, o che sia stampato da una stampante piuttosto che da un'altra.

In un progetto di digitalizzazione volto alla realizzazione di immagini cromaticamente fedeli, la corretta implementazione di opportune politiche di Color Management, in grado di ovviare a questo problema, risulta quindi essere un'esigenza primaria.

La *Commission Internationale d'Eclairage* (CIE, un ente incaricato della standardizzazione nel campo dell'illuminazione), ha determinato delle grandezze che definiscono in maniera univoca un colore percepito da un osservatore standard. Nello *spazio L^*, a^*, b^** (brevemente: *Lab*), il colore di un oggetto illuminato viene definito specificando tre coordinate: la luminosità **L** che va da 0 a 100 (dal nero al bianco), la coordinata **a** (che esprime il rosso quando è positiva e il verde quando è negativa) e la coordinata **b** (che esprime il giallo quando è positiva e il blu quando è negativa).

Il color management si basa sui *profili colore*: questi sono dei file che contengono delle tabelle che mettono in corrispondenza i valori RGB di un determinato dispositivo con i valori Lab assoluti.

Esistono fondamentalmente due tipi di profili nella gestione del colore: i profili di *input*, associati ai sistemi di acquisizione (scanner, fotocamere, etc...), e profili di *output*, associati ai dispositivi di visualizzazione (monitor, stampanti, etc...).

Per la corretta visione del colore di un'immagine digitale è fondamentale che si usino entrambi questi profili.

7.2 Calibrazione e creazione del profilo dei monitor (output)

Prima di iniziare il lavoro di acquisizione, per tutti i monitor sui quali si lavorerà alle immagini acquisite, è necessario procedere alla calibrazione, ossia all'ottimizzazione delle regolazioni di contrasto, luminosità, etc..., e, quindi, alla creazione del profilo.

È importante che tale procedura sia effettuata mensilmente, e soprattutto che gli operatori, una volta calibrato il monitor, si astengano da regolazioni manuali per “vedere meglio” o per “avere più contrasto”.

Esistono in commercio dei pacchetti completi costituiti da un software accompagnato da un colorimetro (strumento da porre sul monitor al momento della calibrazione e della creazione del profilo). In genere questi software guidano l'utente attraverso semplici procedure e il profilo generato viene automaticamente salvato nelle opportune cartelle di sistema.

Approfondimento: operazioni per l'impostazione del profilo del monitor nei Sistemi Operativi Microsoft Windows.

Il profilo creato è un file di tipo *profilo ICC (International Color Consortium)* che deve stare nella cartella di sistema

C:\Windows\system32\spool\drivers\color.

Questo profilo deve essere poi associato alla periferica "Monitor"; a questo proposito si preme il tasto destro del mouse sul desktop (sfondo) di Windows e si sceglie

Proprietà/Impostazioni/Avanzate/Gestione Colori;

in questo pannello si seleziona il profilo e si 'clicca' su "*Imposta come predefinito*".

Il profilo del Monitor contiene anche la curva di calibrazione che deve essere caricata nella LUT (*look-up table*) della scheda video; questa operazione deve essere eseguita a ogni avvio del PC; per questo motivo nella cartella

C:\Documents and Settings\All Users\Menu Avvio\Programmi\Esecuzione Automatica

viene installato un apposito programma (ad es. *Logo Calibrator Loader*). Inoltre è importante verificare che in questa cartella non si trovino altri software che agiscono sulla LUT, come *Adobe Gamma*. A meno che non si usi proprio *Adobe Gamma* per la calibrazione del monitor, scelta sconsigliata, è necessario rimuovere questo programma da "Esecuzione Automatica".

Normalmente queste operazioni vengono eseguite in automatico dal software di calibrazione, ma è bene verificare queste impostazioni a seguito di modifiche o re-installazioni del sistema.

7.3 Creazione del profilo colore di acquisizione (input)

La realizzazione del profilo colore di input dipende dal tipo di sistema di acquisizione che è stato scelto e risulta essere più complicata nel caso di scanner o fotocamere digitali a planetario, che utilizzano un'illuminazione esterna, rispetto al caso di scanner piani.

I profili di input, a differenza di quelli di output che stanno in specifiche cartelle di sistema del computer, sono associati ai file immagine.

Se ci si è procurati la versione giusta, il software che crea il profilo del monitor è in grado di creare anche quello di acquisizione. Per fare ciò è necessario un *target standard (color chart)*, ossia un oggetto sul quale sono presenti delle superfici (caselle o *tacche*) di cui sono note con precisione le coordinate colorimetriche assolute (Lab) in condizioni di illuminazione "ideali"¹⁶.

¹⁶ Ci si riferisce in genere all'illuminante standard D55 definito dalla CIE.

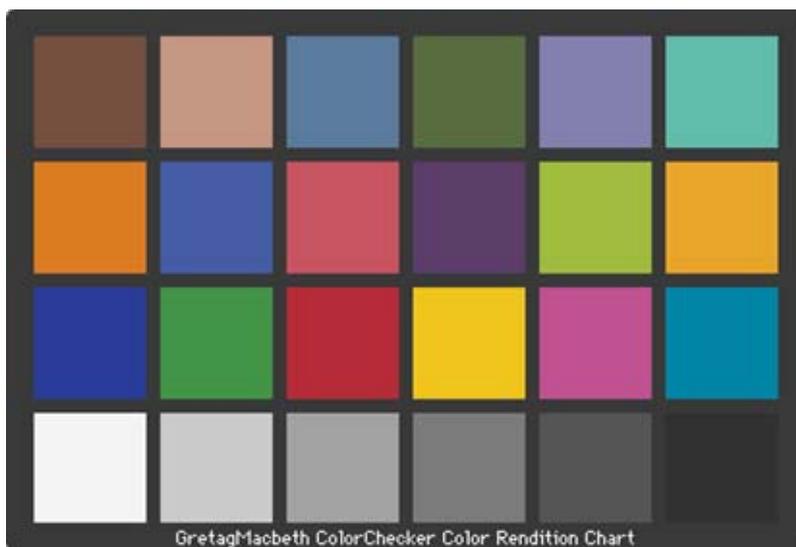


Figura 6 - Il target Gretag Macbeth ColorChecker – 24 tacche formato 8" x 11,5" (circa un foglio A4).

La realizzazione del profilo segue la seguente procedura: il target (ad esempio quello in Figura 6 per le fotocamere digitali) viene acquisito dal sistema in certe condizioni di illuminazione; nelle stesse condizioni vengono acquisiti un certo numero di esemplari della collezione da digitalizzare. Il software di profilazione, a partire dall'immagine del target, conoscendo le coordinate Lab di ciascuna sua tacca (in condizioni di illuminazione "ideali"), crea una corrispondenza tra i valori RGB registrati dal sistema di acquisizione e le relative coordinate assolute.

Per interpolazione, a partire da queste corrispondenze (24 nel caso del target in Figura 6), il software ricava automaticamente la tabella che associa una terna Lab a tutte le possibili terne RGB (il profilo di input); a questo profilo verrà dato un nome e sarà assegnato alle immagini degli esemplari acquisiti successivamente, purché nelle stesse condizioni di illuminazione.

Se cambiano le condizioni di illuminazione, il profilo creato in precedenza non è più valido e se ne deve creare uno nuovo. Questo è il motivo per cui, come precedentemente affermato, nel caso di scanner piani la procedura è più semplice; in questo caso le condizioni di illuminazione sono (entro certi limiti) sempre le stesse, per cui una volta creato il profilo questo è valido sempre.

In realtà è bene creare un profilo ogni giorno anche nel caso di scanner piani, in quanto la risposta dei sensori e l'intensità della lampada interna sono soggette a variazioni.

7.4 Utilizzo dei profili colore

Le immagini così trattate, visualizzate su uno schermo profilato correttamente, dovranno fornire la stessa percezione di colore degli

oggetti che esse rappresentano se osservati direttamente in condizioni di illuminazione standard (D65, D55).

Nella Figura 7 viene schematizzata la gestione del colore in un tipico flusso digitale, una volta che sono stati creati i profili di input e di output. Si fa riferimento per semplicità ad un oggetto (il rettangolo verde) omogeneamente colorato e illuminato.

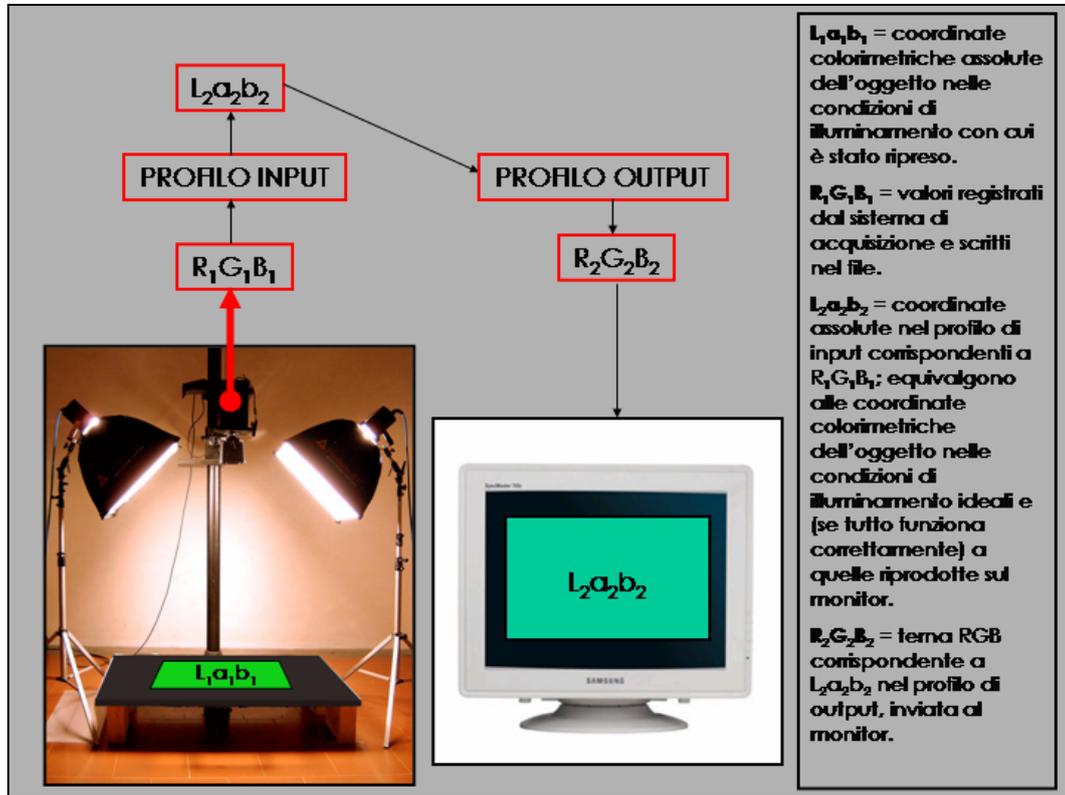


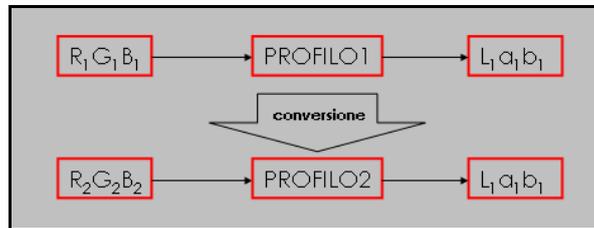
Figura 7 – schema della gestione del colore in un tipico flusso digitale,

Il colore di un'immagine digitale con il profilo incorporato ha un riferimento colorimetrico assoluto, per cui, nel caso questa sia fruita dal pubblico o venga consegnata a soggetti terzi per essere elaborata (per esempio a una tipografia per la stampa), sarà stata trasmessa con essa la possibilità di visualizzarla ed elaborarla nel modo corretto.

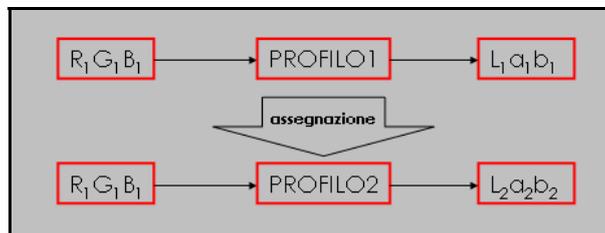
Una volta creato il profilo 'ad hoc' come descritto, questo sarà specifico di un certo sistema di acquisizione in determinate condizioni; per questo motivo si consiglia di **convertire** l'immagine in un profilo standard, come *Adobe RGB* o *Prophoto*. Nell'ipotesi che, per errore, il profilo venisse perso, in questo caso, basterebbe **assegnarlo** nuovamente, essendo questo facilmente reperibile. Nel caso contrario, in cui tale conversione non sia stata fatta, potremmo recuperare il profilo unicamente da chi lo ha prodotto.

Approfondimento: differenza fra **assegnare** e **convertire** il profilo colore di un'immagine.

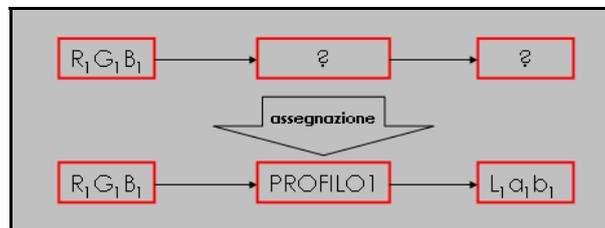
Si prenda in considerazione un'immagine già dotata di un profilo: questa verrà **convertita** in un altro profilo con l'intento di lasciare invariate le sue coordinate Lab, quindi la sua percezione visiva; dunque **dovranno cambiare i dati RGB**.



Le verrà invece **assegnato** un altro profilo con l'intento di correggere la sua visualizzazione; dunque cambieranno i dati Lab.



Nel caso in cui un'immagine è priva di profilo, gliene verrà **assegnato** uno per darle un riferimento colorimetrico assoluto, che altrimenti non ha.



APPENDICE A: misura della radiazione luminosa ed UV ed altre grandezze fisiche

Per spiegare come si procede per la valutazione dell'impatto da radiazione luminosa ed UV, si riporta un'esperienza pratica condotta con lo strumento *data logger ELSEC*. I dati sono riportati in forma grafica nella Figura A1.

Valori medi rilevati con il sensore posizionato al centro dell'area di ripresa:

Illuminamento:	4250 Lux (± 50)
irradiazione UV:	250 mW/m ²
frazione UV:	58 μ W/Lm
Temperatura media:	28,5 °C
Umidità relativa:	36,5 %

Illuminamento nel visibile e componente Ultravioletta.

Si sono presi in considerazione solo i valori corrispondenti a quando lo strumento si trovava sul piano oggetto (utilizzando il riferimento temporale registrato insieme ai dati e gli appunti presi durante le operazioni di ripresa).

Il valore di illuminamento sul piano oggetto registrato durante le riprese è risultato di ~4.250 Lux.

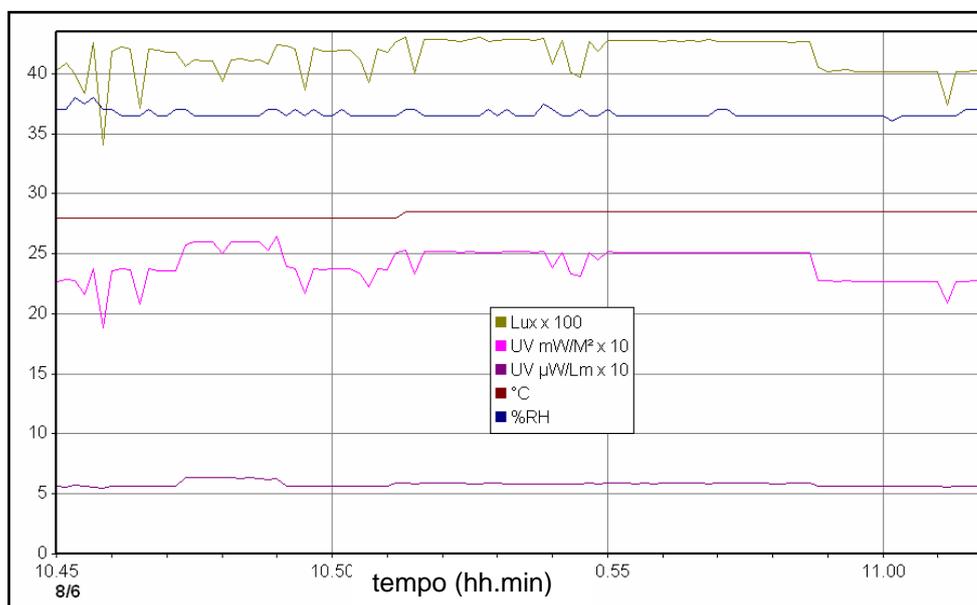


Figura A1 - Grafici delle registrazioni in continuo dei parametri fisici

L'irradiazione UV è risultata ~ 250 mW/m², con conseguente rapporto di ~58 μ W/Lumen rispetto alla frazione visibile.

Per il calcolo del rischio di invecchiamento ci basiamo per il momento sul seguente modello¹⁷:

Assumiamo che le opere da fotografare siano da esporsi con un illuminamento nel visibile di non più di 50 Lux (classe 1), con una dose massima annuale di non più di 200 Kluxh. Assumiamo inoltre che l'effetto di invecchiamento provenga prevalentemente dalla frazione ultravioletta e blu-violetta e che 75 µW/Lumen sia il massimo ammissibile in una corretta esposizione museale.

La frazione di UV misurata risulta (58:75=0,77) quindi inferiore del 23% a quella ammessa per l'esposizione museale. Ne risulta che in circa 2 minuti (tempo plausibile necessario per uno scatto) il rischio di invecchiamento corrisponde a circa

$$(4250*0,77)*(2/60) = \sim 109 \text{ Luxh.}$$

Tale dose è equivalente a circa 2 ore e 12 minuti di esposizione museale e pari a circa lo 0,5 per mille della massima dose annuale.

Uniformità di illuminamento

L'analisi delle immagini di uniformità di illuminazione sul campo di ripresa con cartoncino grigio hanno fornito il seguente risultato (riportato a 256 livelli di grigio):

Media = 187

Standard deviation = 4,62

Estremi (integrati su piccole aree): min 175, max 190

Temperatura

Le variazioni di temperatura avvenute durante le operazioni di ripresa, in ambiente chiuso non condizionato, sono dovute essenzialmente all'emissione termica degli illuminatori.

I grafici mostrano che, dopo un transitorio dovuto all'accensione delle lampade, la variazione della temperatura ambiente è stata di circa 2 °C/ora, passando da 24 a 26 °C.

Umidità relativa

I valori registrati di umidità relativa (%RH in Figura A1) sono piuttosto bassi. Infatti variano da 31% a 32% durante tutta la misura. Un fattore importante è comunque il salto di RH tra le condizioni di normale conservazione (non note al momento) e l'ambiente di ripresa.

Normalmente si consiglia di non superare il 10% in più o in meno fra i due ambienti.

¹⁷ G. Thomson, The Museum Environment, Butterworth Heinemann and The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Second Edition (1986).

APPENDICE B: valutazione del potere risolutivo della fotocamera *CANON EOS-1 Ds Mark II* mediante test chart

In questa appendice vengono esposti i risultati della valutazione del potere risolutivo della fotocamera **Canon EOS-1 Ds Mark II**, dotata di un sensore 36 x 24 mm di tipo CMOS da 4992 x 3328 pixel provvista di un obiettivo EF 50mm f/2.5 Compact Macro.

Il potere risolutivo di un sistema di acquisizione può essere inteso come la distanza minima fra due linee affinché queste ultime possano essere acquisite come distinte¹⁸. Nell'esempio riportato valutiamo le prestazioni della fotocamera alla densità di campionamento di 550 ppi sul piano oggetto, che corrispondono a circa 21,65 pixel per millimetro. Secondo il teorema di Shannon questi sarebbero, supposti determinati assunti, appena sufficienti a risolvere una frequenza spaziale massima di circa 10,83 cicli/mm (frequenza di Nyquist). Tutte le frequenze spaziali superiori presenti nell'oggetto campionato contribuiscono con un segnale di errore dovuto all'aliasing, che su originali con struttura periodica si rivela con un fenomeno di battimento noto come *moiré*. Di fatto il limite risolutivo di un sistema di acquisizione è ben più basso della frequenza di Nyquist; quanto questo limite sia più basso dipende da svariati fattori che determinano la qualità del sistema di acquisizione, i quali sono difficilmente ponderabili singolarmente con esattezza. Per valutare questo limite la scelta migliore consiste nell'acquisire un'immagine ideata specificatamente per effettuare questo test (test chart) e analizzare il dato acquisito.

La Modulation Transfer Function (**MTF**), che descrive con quale attenuazione il sistema riesce a registrare la dinamica di pattern spaziali sinusoidali in funzione della loro frequenza spaziale, fornisce il miglior criterio di valutazione del potere risolutivo del sistema di ripresa.

Se di questa funzione di trasferimento consideriamo la frequenza per la quale la dinamica che il sistema restituisce è scesa del 50% (**MTF50**) si può stabilire che questo numero in cicli/mm definisce il potere risolutivo del sistema di acquisizione ad una particolare densità di campionamento.

Di seguito vengono esposti tre differenti metodi utilizzati per la valutazione del MTF50 della Canon EOS-1 Ds Mark II.

1) Calcolo della MTF attraverso Trasformata di Fourier

Una valutazione della risoluzione del sistema ottica+sensore si può ricavare dall'acquisizione di un'immagine di una test chart in presenza di un gradino bianco/nero, ossia di una linea di demarcazione fra due zone a differente densità ottica per cui il passaggio sia il più possibile immediato e netto.

Nell'esempio che riportiamo si utilizza la test chart "Variable contrast USAF field target" della Edmund (Fig. B1); questa è un foglio su cui sono finemente stampate, con un alto livello di dettaglio, svariate serie di barre

¹⁸ La "distinguibilità" di due righe si misura con l'ampiezza della variazione della loro luminosità (variazione dinamica o contrasto).

nere su fondo bianco a frequenze spaziali crescenti, per quattro diversi livelli di contrasto.

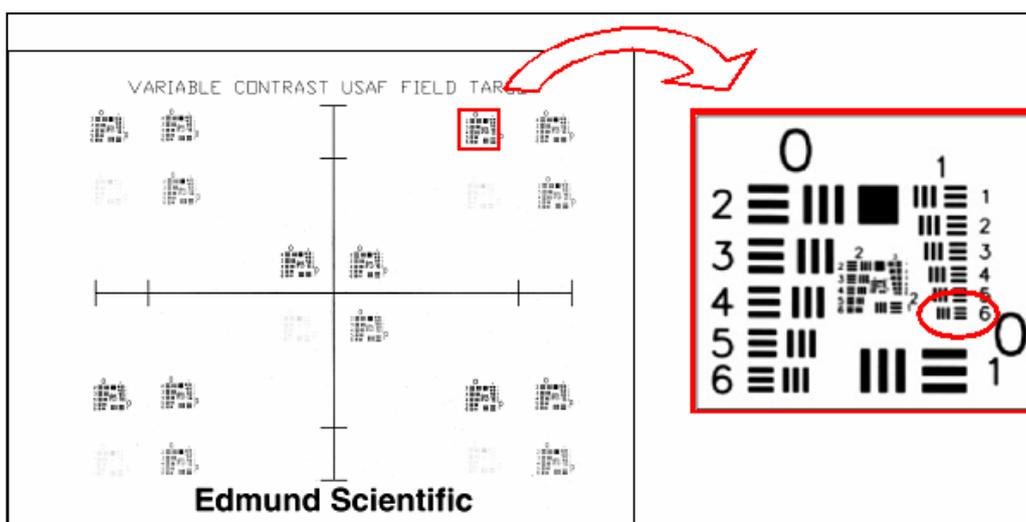


Figura B1 – Esempio di test chart. Evidenziato nell’ingrandimento il gruppo 1 – sottogruppo 6

Ad ogni gruppo di barre corrisponde una frequenza spaziale in cicli/mm (Fig. B2).

Test Chart USAF 1951		
Gruppo	sottogruppo	Cicli/mm
2	3	5,04
2	4	5,66
2	5	6,35
2	6	7,13

Figura B2 - Corrispondenza tra alcuni gruppi di linee della test chart e la frequenza spaziale espressa in numero di coppie di linee/mm (cicli/mm)

Si acquisisce con la Canon la test chart ad una densità di campionamento spaziale pari a 550 ppi, in modo che si formi un certo angolo (fra i 5 e i 20°) fra gli assi della test chart e gli assi del sensore, avendo cura di controllare l'uniformità di illuminamento sul piano oggetto, il parallelismo di quest'ultimo con il piano individuato dal sensore, l'uniformità della messa a fuoco e l'ottimizzazione dei parametri di scatto.

Si seleziona la regione di interesse (ROI) di qualche decina di pixel di lato, a cavallo di una transizione bianco/nero (Fig. B3).

La ROI viene quindi elaborata e analizzata dal software per analisi di qualità delle immagini "Imatest"¹⁹; senza entrare nel dettaglio delle operazioni matematiche, riportiamo il procedimento seguito dal software:

¹⁹ <http://www.imatest.com/>

- linearizzazione della ROI e correzione della gamma del sistema di ripresa;
- localizzazione del bordo (gradino di luminosità) per le 3 componenti di colore e per ciascuna riga della ROI;
- determinazione del profilo di luminosità mediante un best fitting opportuno di ciascun profilo ed una interpolazione per aumentare il numero dei punti su tale profilo;
- calcolo della derivata del profilo e regolarizzazione del risultato;
- calcolo del valore assoluto della trasformata di Fourier della derivata calcolata, per determinare la funzione di trasferimento della modulazione (MTF).

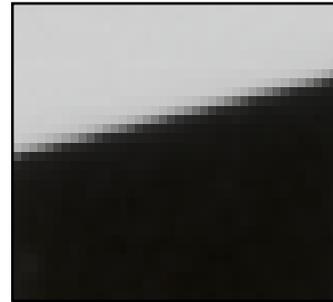


Figura B3 – Regione di interesse utilizzata.

“Imatest” segnala le frequenze spaziali alle quali la curva MTF raggiunge particolari valori di attenuazione, in particolare al 30% (MTF30), al 50% (MTF50); inoltre viene evidenziata l'attenuazione alla frequenza di Nyquist (MTF-Nyquist), cioè alla metà della frequenza di campionamento.

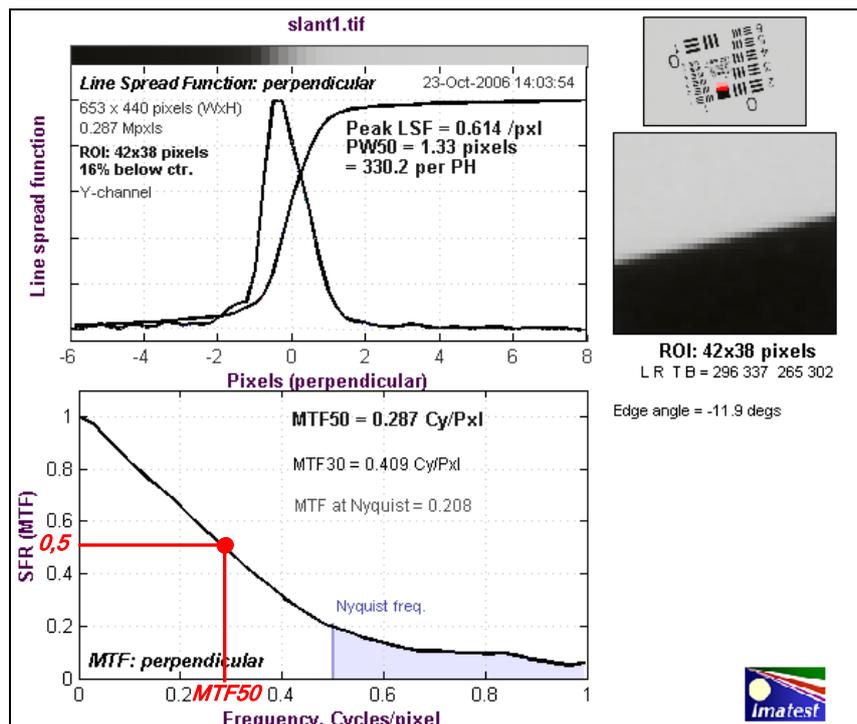


Figura B4 - Calcolo della MTF. In alto a destra il dettaglio dell'immagine del gradino bianco/nero presente nella test chart USAF. Il grafico inferiore mostra la presenza di aliasing pari al 20%, in corrispondenza della frequenza di 0,5 cicli/pixel.

Nel caso della Canon EOS1 che riprende ad una densità di campionamento di 550 ppi si hanno i seguenti valori (Fig. B4):

MTF50 = 0,287 cicli/pixel - **MTF30** = 0,409 cicli/pixel - **MTF-Nyquist** = 20,8%

Valori più alti dei parametri MTF30 ed MTF50 indicano comportamenti migliori, cioè minore attenuazione delle varie componenti di frequenza. Il valore ideale del parametro MTF-Nyquist dovrebbe essere = 0, indicando assenza di sottocampionamento.

Il valore MTF50 è espresso in cicli/pixel ed è indipendente dalla densità di campionamento; tradotto in frequenza spaziale esso equivale, nel nostro caso a 550 ppi, a **6,2 cicli/mm**.

Il valore di MTF-Nyquist calcolato da "Imatest" indica la presenza di *aliasing* dovuto alle frequenze spaziali superiori alla metà di quella di campionamento, che danno un contributo fino al 20%.

Il vantaggio di questo metodo consiste nella sua velocità: una volta selezionata la ROI, la funzione di trasferimento, e i relativi valori di interesse, vengono calcolati automaticamente in pochi secondi.

La stima della MTF con questo metodo contiene tuttavia varie cause di approssimazione e va considerata come una buona valutazione, non rigorosa, delle prestazioni del sistema.

2) Costruzione della MTF attraverso barre di contrasto.

Un'approssimazione un po' sovrastimata, ma abbastanza buona, della MTF si può ottenere con bersagli a barre bianche e nere della stessa larghezza, quali quelli presenti nella test chart USAF.

Una volta acquisita l'immagine, con le stesse modalità e le stesse accortezze usate nel il metodo precedente, si considera un contrasto di partenza (si sceglie il maggiore dei quattro) e si va a leggere la differenza di intensità dei pixel relativi al bianco e al nero relativamente a zone sufficientemente ampie; leggeremo quindi il valore del bianco sullo sfondo, mentre il valore del nero verrà letto sulle barre a frequenza più bassa dove esse occupano un numero maggiore di pixel e sarà quindi possibile selezionare una zona priva di 'effetti di bordo'. Questa dinamica sarà il 100%, la massima che la fotocamera (con i parametri di scatto e l'illuminazione usati) restituisce per la test chart, mentre quella letta in corrispondenza dei gruppi di barre più fitte sarà minore o uguale; tale diminuzione la imputiamo interamente all'incapacità del sistema di acquisizione di 'risolvere' le barre, che sono in realtà finemente stampate con la solita densità ottica e sul medesimo sfondo. La MTF può essere quindi costruita misurando la dinamica dell'intensità dei pixel corrispondenti alle barre relative alle varie frequenze presenti sulla test chart.

La Figura B5 riporta l'andamento della luminosità lungo un segmento che interseca le sequenze di righe di tutto il gruppo 2; si può osservare come la dinamica scenda con l'aumentare dell'indice del sottogruppo da 2 a 6.

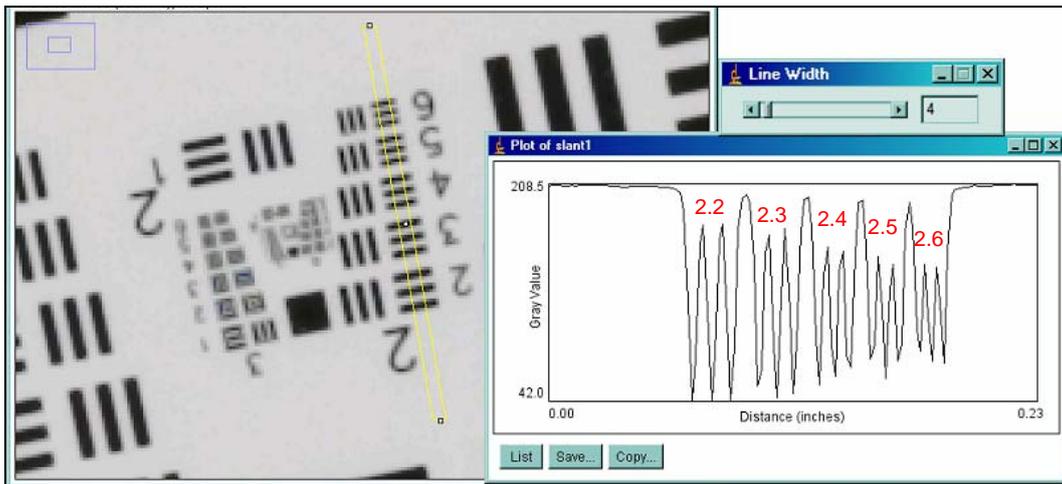


Figura B5 - Dettaglio dell'immagine del test USAF-Edmund e profilo dell'intensità lungo la selezione (in giallo) corrispondente al gruppo 2.

In realtà il sistema di ripresa risente di molte cause fisiche di errore soprattutto dovute alle limitazioni dell'ottica ed a quelle del sensore. La ripresa della suddetta test chart a 550 ppi mostra, nelle condizioni di scatto più favorevoli, la possibilità di distinguere, con attenuazione del contrasto non superiore a ~ 50%, le varie configurazioni di righe bianche e nere fino a quella contrassegnata con il gruppo 2 - sottogruppo 5 (Fig. B5), corrispondente ad un massimo di **6,35 coppie di linee/mm**, o cicli/mm (Fig. B2). Infatti, dal momento che i livelli del bianco e del nero dell'immagine sono rispettivamente 208 e 16, la dinamica è scesa del 50% in corrispondenza della sequenza 2.5.

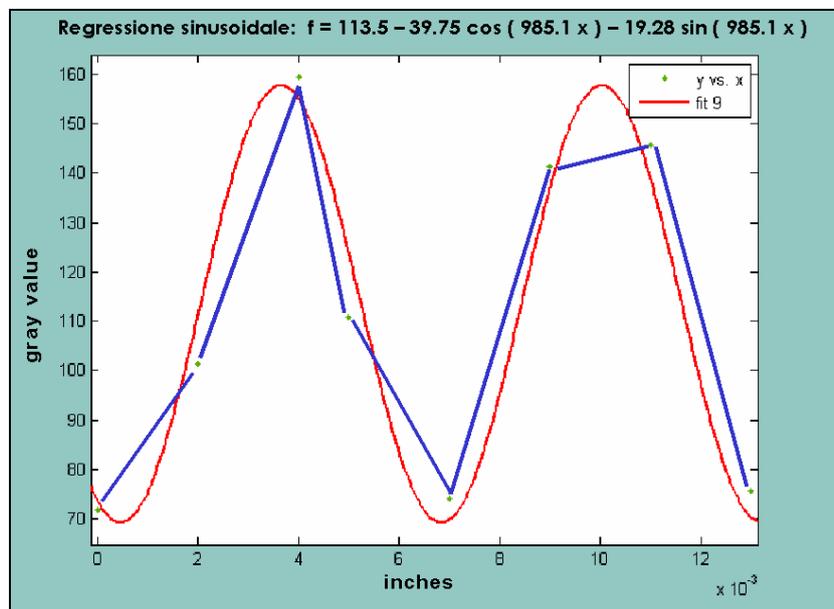


Figura B6 - Regressione sinusoidale del profilo del valore di luminosità lungo un segmento ortogonale alle linee corrispondenti al gruppo 2.5 della test chart USAF-Edmund.

La Figura B6 mostra il dettaglio della regressione sinusoidale per la stima della risoluzione spaziale. Il profilo interpolato mostra una dinamica di circa 90 livelli, corrispondente a poco meno del 50% della dinamica massima (differenza tra bianco e nero) pari a circa 192 livelli.

3) Costruzione della MTF attraverso pattern sinusoidali

Un altro metodo per la valutazione della MTF consiste nell'acquisire un altro tipo di test chart caratterizzata da pattern con andamento sinusoidale (Fig. B7).

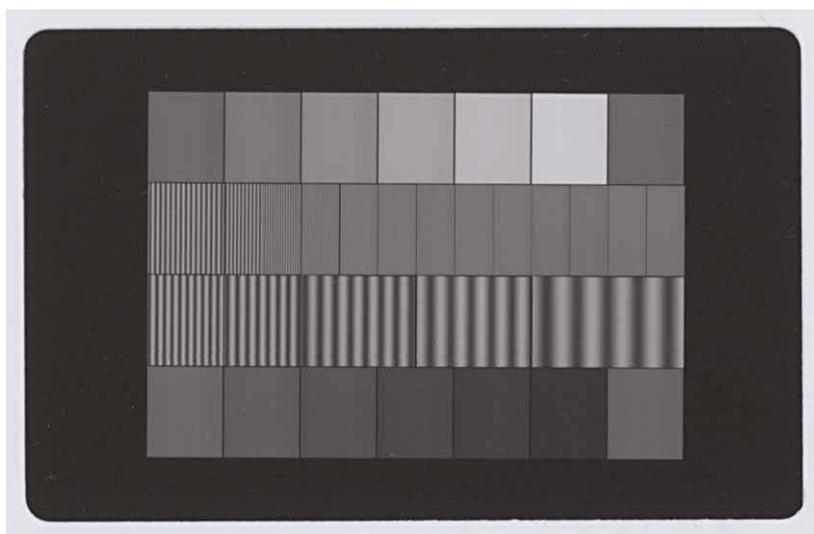


Figura B7 - Edmund reflection sinusoidal test pattern. Le due bande orizzontali al centro sono i pattern sinusoidali, quelle in alto e in basso formano una scala di grigi di tacche a differente densità ottica.

Anche in questo caso si acquisisce l'immagine della test chart a 550 ppi, controllando accuratamente la messa a fuoco, l'uniformità di illuminazione e i parametri di scatto.

In questo caso unitamente alla test chart la Edmund allega il risultato del test condotto con il microdensimetro sull'esemplare fornito. La dinamica letta dalla fotocamera Canon viene quindi confrontata con quella misurata su ciascun pattern da uno strumento ad alta precisione.

Nella figura B8 è possibile notare come il sistema riproduce i pattern mantenendo il contrasto originale fino a circa 1.5 cicli per mm; per le frequenze spaziali più alte la dinamica inizia a ridursi, e a 6 cicli per mm è già fortemente ridotta, mentre a 10 cicli/mm si ha solo aliasing dovuto al sottocampionamento. Il valore di frequenza spaziale **MTF50** risulta essere compreso fra 6 e 7 cicli/mm, infatti per il pattern corrispondente a 6 cicli/mm la dinamica si è ridotta di meno della metà mentre per quello corrispondente a 7 cicli/mm la dinamica si è ridotta di più della metà.

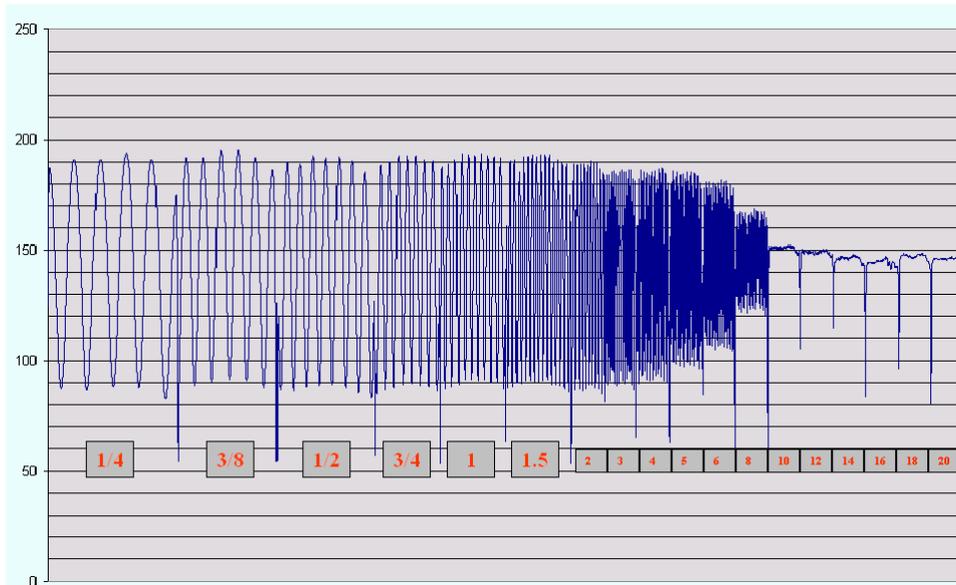


Figura B8 – Andamento dell'intensità dei pixel in corrispondenza dei vari pattern sinusoidali della test chart ripresi con la Canon EOS1 a 550 ppi

Conclusioni

Il potere risolutivo del sistema, individuato con la frequenza spaziale che porta ad una attenuazione della dinamica pari al 50%, è stato dunque stimato attraverso tre metodi: la trasformata di Fourier della Line Spread Function, operata dal software Imatest, da cui ricaviamo il valore MTF50; l'individuazione della sequenza della test chart USAF la cui regressione sinusoidale fornisce un'ampiezza attenuata del 50% rispetto alla dinamica massima dell'immagine; l'individuazione del pattern sinusoidale della test chart Edmund che fornisce un'ampiezza attenuata del 50%.

I metodi possono considerarsi validi in quanto giungono con buona approssimazione al medesimo risultato: infatti il risultato $MTF50 = 0.287$ cicli per pixel di Imatest, a 550 ppi, equivale a 6.2 cicli per millimetro, conformi con la frequenza spaziale della sequenza di righe 2.5 della test chart USAF, che corrisponde a 6.35 cicli/mm, e con il fatto che il dimezzamento della dinamica avvenga fra il pattern corrispondente a 6 cicli/mm e quello corrispondente a 7.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:

- ALDROVANDI A., PICOLLO M.
2007 *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti*; ed. Il Prato, Padova.
- BRILL T.B.
1980 *Light. Its interaction with Art and Antiquities*; ed. Plenum press, New York.
- CASTELLANO A., MARTINI M., SIBILIA E. (a cura di)
2002 *Elementi di Archeometria*; ed. EGEA, Milano.
- CILIBERTO E., SPOTO G. (a cura di)
2000 *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*; ed. Wiley, New York.
- FELLER R.L., LEE S. B., BOGAARD J.
1982 *The Darkening and Bleaching of Paper by Various Wavelengths in the Visible and Ultraviolet*; 10° Meeting annuale di American Institute for Conservation (AIC), Mailwaukee.
- FRASER B., MURPHY C., BUNTING F.
2004 *Real World - Color Management*; ed. Peachpit Press.
- GEARY J.M.
2002 *Introduction to Lens Design*; ed. Center for Applied Optics, Huntsville (AL).
- GONZALES R. C., R. E. WOODS
2002 *Digital Image Processing*; ed. Prentice Hall, New Jersey.
- GRUPPO DI LAVORO 6 DEL PROGETTO MINERVA (a cura di)
2004 *Manuale di buone pratiche per la digitalizzazione del patrimonio culturale*; pubblicazione elettronica su <http://www.minervaeurope.org/>.
- LOTTI F., STEFANI L., CASINI A.
2003 *Riproduzione Digitale del Patrimonio Documentario; Restauro 03*, Ferrara.
- NASSAU K.
1998 *Color for Science, Art and Technology*; ed Nassau, North-Holland.
- OLEARI C. (a cura di)
1998 *Misurare il Colore – Spettrofotometria, fotometria e colorimetria. Fisiologia e percezione*; ed. Hoepli, Milano.
- SAUNDERS D., CUPITT J., PADFIELD J.
2006 *Digital Heritage - Digital imaging for easel paintings*; ed. Lindsay MacDonald.
- SHAEFFER T.T.
2001 *Effects of light on materials in collections. Data on photoflash and related sources*; ed. Getty Trust, Los Angeles (CA).