

La diagnostica nel restauro pittorico

1. Il Restauro Pittorico: La Diagnostica

È ormai luogo comune ricordare come un intervento di restauro su un'opera d'arte debba essere preceduto da una raccolta, più ampia possibile, di notizie storiche e di analisi a carattere scientifico finalizzate ad una conoscenza approfondita dell'oggetto, in modo da impostare in maniera corretta la stessa operazione di restauro.

L'esame scientifico non può e non deve essere fine a se stesso, ma deve rappresentare la raccolta di un insieme di dati ottenuti con l'applicazione dei diversi metodi di analisi, la cui elaborazione deve costituire la base per una **collaborazione** fra esperti dei settori **tecnico**, **scientifico** e **storico** che, attraverso una valutazione globale, potranno trarre le più corrette conclusioni.

Le informazioni ottenibili con le metodologie diagnostiche non sono di facile interpretazione se non si conoscono i principi su cui si basano. Al tempo stesso risulta estremamente utile che l'esecuzione degli esami sia fatta, per quanto possibile, dal restauratore stesso: questi, via via che procede nell'esecuzione materiale dell'intervento, potrà rielaborare e interpretare correttamente ciò che le indagini gli hanno mostrato, potrà valutare con precisione quando e in quali zone eseguire nuovamente gli esami ed eseguire gli eventuali prelievi da sottoporre all'indagine del laboratorio chimico.

Gli esami diagnostici si possono dividere in due categorie: Esami effettuati nel dominio delle radiazioni **visibili** e quelli effettuati nel dominio delle radiazioni **invisibili**.

2. Esami nel Dominio delle radiazioni Visibili

L'esame ad occhio nudo, con la semplice luce solare o artificiale, cioè impiegando le radiazioni visibili, che hanno lunghezza d'onda compresa all'incirca fra i 380 e i 760 nanometri (un nanometro corrisponde ad un millesimo di millimetro) è sempre il primo a cui un'opera viene sottoposta e, se condotto da un occhio esperto, può già dare moltissime informazioni sullo stato di conservazione dell'opera.

Gli esami nel dominio delle radiazioni visibili sono i seguenti:

- **Luce Radente e luce monocromatica di sodio**
- **Luce Trasmessa**
- **La Macrofotografia**

2.1 Diagnostica con Luce Radente e luce monocromatica di sodio

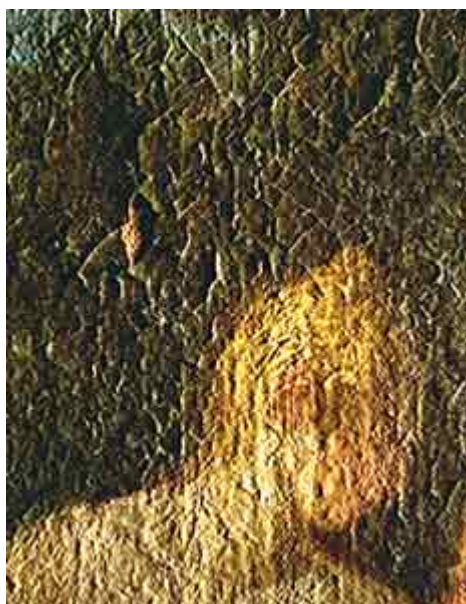
La luce monocromatica di sodio

Questa luce fa parte delle radiazioni visibili: essa ha lunghezza d'onda di 589 nanometri e viene prodotta da una lampada a vapori di sodio che, emettendo una luce esclusivamente gialla, permette una visione più netta della forma grafica, evidenzia i ritocchi e rende più visibili eventuali scritte nascoste da vernici inscurite. Ha dunque funzione simile a quella dei raggi infrarossi ma, rispetto a questi ultimi, ha il vantaggio di essere percepibile dall'occhio umano ed il risultato può essere fotografato con una normale pellicola a colori.

Luce Radente

Le fotografie con le quali vengono documentati i dipinti e le opere d'arte sono normalmente eseguite a luce diffusa, ovvero ricreando, anche artificialmente, condizioni di illuminazione che rendano al meglio leggibile la composizione e i suoi valori cromatici. In altre parole queste fotografie vengono realizzate cercando di eliminare qualsiasi riflesso speculare della superficie ma al tempo stesso cercando di rispettare il più possibile le normali condizioni di osservazione dell'opera.

Il primo passo per esaminare un dipinto con lo scopo di ottenere nuove informazioni e indagare il suo stato di conservazione e la tecnica con il quale è stato eseguito consiste nell'illuminarlo con un fascio di luce radente la superficie.



L'esame a luce radente risulta fondamentale per documentare lo stato del supporto in relazione alla sua planarietà.

I supporti di tela, ad esempio, possono allentarsi sotto l'influenza delle variazioni climatiche o per instabilità del telaio: esaminando il dipinto con un fascio luminoso parallelo alla superficie si evidenzieranno le più piccole variazioni e gli allentamenti, giungendo a documentare anche le eventuali impronte lasciate sulla superficie dagli angoli interni del telaio e delle traverse

Con luce radente si intende un fascio luminoso parallelo alla superficie o formante con questa un angolo molto ridotto. È necessario che questo fascio sia condensato da delle lenti e ben delimitato, in modo da aumentare il contrasto fra le zone illuminate e quelle che rimangono in ombra e da evitare diffusioni di luce che attenuerebbero l'effetto voluto.

In queste condizioni tutti i difetti della superficie vengono accentuati al punto che l'immagine che otterremo del dipinto risulterà in qualche caso irricognoscibile. La luce radente farà apparire anche i più piccoli sollevamenti del colore e della preparazione guidando così il restauratore nell'esecuzione di interventi localizzati e nel controllo del risultato ottenuto. Inoltre può anche fornire informazioni sulla tecnica pittorica (poiché evidenzia la pastosità delle pennellate, l'eventuale impiego della spatola, etc.).



Nei supporti in legno, invece, la luce radente potrà facilmente evidenziare la curvatura, le distorsioni e le congiunzioni fra un pannello e l'altro, ovvero i tipici fenomeni di deformazione delle tavole: *imbarcatura*, *svergolatura*, *arcuatura*, *falciatura*.



Questa semplice tecnica di indagine può fornire informazioni che consentono di ricostruire parte delle vicissitudini a cui è stato sottoposto l'oggetto, rivelando, ad esempio, impercettibili tracce lasciate da un supporto non più presente (come nel caso di un intervento di trasporto di un dipinto da tavola a tela), o lo schiacciamento degli impasti e delle pennellate pastose. In questo caso possono essere messe in evidenza delle impronte sulla pellicola pittorica dovute al supporto originale.

La luce radente può perfino rivelare la presenza di uno strato pittorico sottostante alla superficie visibile, mostrando variazioni di planarietà non giustificate dalle stesure visibili del colore. In questo caso possiamo trovarci in presenza di pentimenti pittorici oppure di riutilizzazione di un dipinto come supporto per una nuova pittura. Saranno altri esami a stabilire se ciò è avvenuto per volontà dell'autore o se ci troviamo in presenza di una contraffazione.



La luce radente può inoltre facilitare lo studio della tecnica del pittore, in particolare quando il colore è posato ad impasto spesso, facendo risaltare le caratteristiche della pennellata: rilievo, direzione, larghezza e curvatura. L'andamento della pennellata, mostrando aspetti della stile e qualità dei segni pittorici, può essere di grande utilità in un processo attributivo se, ovviamente, questo potrà essere confortato da simili immagini desunte da più opere tradizionalmente riferite allo stesso artista.



Lo studio della pennellata può essere reso ancor più preciso ingrandendo dei dettagli dell'opera: una buona lente di ingrandimento può servire allo scopo ma la macrofotografia risulta il più delle volte la tecnica più indicata, sia per la possibilità di ottenere dei forti ingrandimenti, sia perché permette il confronto diretto delle caratteristiche delle pennellate eseguite su opere diverse.

L'osservazione dell'andamento della superficie in luce radente, non di rado, porta all'identificazione di zone ridipinte. L'esame risulta, infine, utile per l'osservazione degli spessori degli strati pittorici, infatti l'evidenziarsi della tramatura della tela sulla superficie indica la presenza di una preparazione molto sottile.



2.2 Diagnostica con Luce Trasmessa

La possibilità di ottenere immagini variate e diversamente significative da uno stesso dipinto è legata a vari fattori: le caratteristiche dell'oggetto da indagare, il variare della direzione di illuminamento, la diversa natura della radiazioni rilevate e il rapporto di ingrandimento con il quale l'oggetto può essere indagato. Nel caso dell'uso non convenzionale di una normale sorgente luminosa, si pensi alle infinite variabili in cui può apparirci un qualsiasi oggetto illuminato con incidenze diverse. Nella realtà specifica di un dipinto è possibile accentuare le differenze di andamento della superficie ricercando l'angolo di osservazione dal quale si possa ottenere un riflesso speculare della zona interessata, come spesso avviene, quasi automaticamente, quando un dipinto viene sollevato per una osservazione ravvicinata; ma esiste un'altra possibilità, ingiustamente trascurata, di indagare l'opera variando semplicemente la posizione della sorgente luminosa: si tratta dell'esame in luce trasmessa o transilluminazione.



Utilizzando un fascio di luce che attraversi un dipinto su tela posto tra la sorgente luminosa e l'osservatore, si potranno ottenere varie informazioni sia sulla preparazione che sulla disomogeneità degli strati pittorici, individuando la presenza di eventuali realtà sottostanti alla superficie visibile. Molto semplicemente si eviterà così il ricorso ad altri esami, le cui informazioni non saranno necessariamente più precise solo perché ottenute con metodi più sofisticati. Apparirà d'altronde ovvio constatare, qualora il supporto o la preparazione non consentano una trasmissione delle radiazioni luminose, come il ricorso all'infrarosso o alla radiografia ai raggi X potrà rivelarsi indispensabile per acquisire una certa serie di informazioni.

La transilluminazione consiste quindi nell'illuminare il dipinto dal retro e osservare il comportamento delle radiazioni che riescono ad attraversare i suoi strati. Logicamente i limiti dati da alcuni supporti sono insuperabili e spesso anche nei dipinti su tela, dove non è raro incontrare una notevole trasparenza, la luce non riesce a oltrepassare gli strati. Bisogna tuttavia considerare anche quest'ultimo caso come una informazione importante poiché è indicativo della presenza di una preparazione spessa e colorata. La tela, anche se di notevole spessore o già rintelata, ha una parziale trasmissione alla luce e lo strato pittorico, data la trasparenza dei leganti e di alcuni pigmenti, difficilmente riesce a bloccarla completamente.

I casi di opacità della preparazione in luce trasmessa riservano però spesso sorprese inaspettate: una accentuata craquelure di invecchiamento potrà manifestare con estrema chiarezza l'andamento e il variare della larghezza del suo reticolato.



Una toppa incollata sul retro di un'opera generalmente maschera una lacerazione o uno strappo nel supporto, la luce trasmessa può, in questi casi, essere di aiuto nel valutare l'estensione e la forma del danno.

Un ritocco, in transilluminazione, può nettamente delinarsi come macchia scura quando il suo spessore, o i materiali di cui è composto, sono più opachi alla luce di quanto non lo sia il colore originale. Sono tuttavia più frequenti i casi in cui l'aggiunta risulta più trasparente, accade allora che le zone di maggiore luminosità indichino non tanto l'estensione del ritocco, dato che in parte questo può sovrapporsi allo spessore della pittura originale risultando ancora più opaca, quanto quelle della mancanza sottostante. Il confronto delle informazioni ottenute con altri esami - ed in particolare con la fluorescenza ultravioletta - è in questo caso assolutamente indispensabile poiché spesso parti di pittura fortemente abrase, ovvero ridotte fortemente come spessore, così come stesure originali eseguite con materiali a basso potere coprente, possono prendere una forte trasparenza.





Naturalmente lo spessore dell'impasto pittorico farà schermo alla trasmissione dei raggi, così come vi saranno pigmenti più o meno trasparenti. Saranno questi due aspetti a dare il contrasto all'immagine la cui lettura potrà fornirci utili indicazioni sullo studio della tecnica dell'artista: uso di impasti più o meno densi, sicurezza nel maneggio del pennello, riprese e rielaborazioni di parti dell'opera, rivelandosi un valido supporto nel momento critico di attribuzione di un'opera.

In quest'ultimo caso è doveroso insistere sulla necessità di un confronto con immagini dello stesso autore, riprese nelle stesse condizioni di illuminazione, e insistere, perciò, sulla necessità di un ampio archivio diagnostico, di opere sicuramente certe al quale sia possibile fare riferimento.

Da un punto di vista tecnico l'esame non richiede particolari attrezzature ma soltanto alcuni accorgimenti e una certa cautela perché il dipinto non rischi di essere danneggiato. Un fascio di luce condensato sul retro di un'opera tende a produrre un notevole riscaldamento anche in tempi piuttosto brevi: un ventilatore dovrà quindi essere posto vicino all'opera, comunque illuminata soltanto per il breve periodo necessario per eseguire la fotografia.

Una valida alternativa è in questo senso costituita da una lampada a fibre ottiche, sia perché adattissima nel delimitare il fascio evitando luci parassite che illuminerebbero la superficie dell'opera, sia perché esente dalla possibilità di riscaldare la parte illuminata.

2.3 Diagnostica con Fotografia e Macrofotografia

Qualsiasi tipo d'esame che impieghi le radiazioni visibili è documentabile fotograficamente (come pure alcuni esami che utilizzano i raggi infrarossi o ultravioletti). Per questo motivo tutti i mezzi posti a disposizione dalla moderna tecnica fotografica sono di fondamentale importanza, anche perché ogni fase del restauro viene documentata fotograficamente. Inoltre, applicando la macchina fotografica al microscopio, si possono fotografare le sezioni stratigrafiche, le analisi chimiche fatte su microcampioni e le alterazioni prodotte da microrganismi (microfotografie).

Con le macrofotografie invece si possono visualizzare meglio certe alterazioni della pellicola pittorica o del supporto.



Infatti, le informazioni ottenute attraverso gli esami in luce radente, luce trasmessa, fluorescenza ultravioletta e infrarosso possono essere ulteriormente precisate variando il rapporto di ingrandimento dell'immagine. La macrofotografia non deve però essere considerata una importante tecnica di indagine soltanto quando viene combinata con altri esami: la possibilità di isolare piccole zone dell'opera e concentrare l'attenzione su particolari invisibili all'occhio umano (che non percepisce più la separazione fra due punti o due linee che distino fra loro meno di 1/5 di millimetro), e al tempo stesso la possibilità di documentazione e confronto delle immagini ottenute, risulta di grandissimo interesse nel campo del restauro e della storia dell'arte.

Lo stile del pittore è messo in risalto nella macrofotografia che ne evidenzia le caratteristiche e diviene indispensabile per un confronto fotografico fra più opere, il confronto cioè delle pennellate, esaminandone il rilievo, la direzione, la lunghezza e la curvatura. E' importante mantenere il medesimo rapporto di riproduzione sia per la pennellata originale di confronto, sia per quella oggetto d'indagine. A tale proposito è bene ricordare che il rapporto di riproduzione viene espresso da una frazione che indica il rapporto fra le dimensioni reali del soggetto ripreso e quelle dell'immagine riprodotta sulla pellicola (l'indicazione 2:1 , ad esempio, indica che le dimensioni dell'immagine stanno a quelle reali come 2 sta a 1). Naturalmente l'esame in luce radente e l'esame macrofotografico possono essere combinati per esaltare l'andamento delle pennellate- soprattutto quando il colore è posato a impasto spesso- mostrando aspetti dello stile e qualità dei segni pittorici di grande utilità in un processo attributivo



I principi su cui si basa l'attribuzione sono molto semplici: da un lato abbiamo la capacità della mente umana di riconoscere ciò che già conosce; dall'altro la caratteristica propria dell'uomo di lasciar sempre un'impronta personale su ciò che fa, sia che lo voglia sia che cerchi di ottenere proprio l'opposto. Scriveva in proposito già alla fine del Settecento l'abate Luigi Lanzi: "la natura da a ciascuno nello scrivere un girar di penna che difficilmente può contraffarsi o confondersi del tutto con altro scritto. Una mano avveza a muoversi in una data maniera, tien sempre quella: scrivendo in vecchiazza divien più lenta, più trascurata, più pesante; ma non cangia affatto carattere. Così è in dipingere. Ogni pittore non si discerne solo da questo, che in uno si nota un pennello pieno, in un altro un pennello secco... ma in ciò medesimo, che a tanti è comune, ciascuno ha di proprio un andamento di mano, un giro di pennello, un segnar di linee più o meno curve, più o meno franche, più o meno studiate ch'è proprio suo".

Il forte ingrandimento consente inoltre di visualizzare gli elementi caratteristici della crettatura che è raramente assente dai dipinti antichi, permettendo di stabilire le cause per le quali questa si è generata: trazioni del supporto (craquelure di invecchiamento), impiego di materiali inadeguati o non compatibili (craquelure di essiccaamento). In altri casi l'esame può condurre al riconoscimento di craquelure provocate artificialmente, anche se questo non è elemento definitivo per il riconoscimento dell'oggetto come falso.





Non di rado può comunque accadere di documentare con la macrofotografia aspetti di sicuro carattere fraudolento, come nel caso della scoperta di craquelure di invecchiamento interrotte in corrispondenza della pittura con cui è stata eseguita la firma.

L'osservazione della superficie pittorica a forte ingrandimento può mostrare interruzioni improvvise della crettatura originale o chiarirà la presenza di craquelure di dubbia natura come quelle mistificate dal restauratore dipingendo o scalfendo la zona restaurata. Differenze della conformazione superficiale della strato pittorico originale rispetto a quello della pittura sovrammessa rendono spesso preciso il riconoscimento dei confini fra la zona originale e l'intervento pittorico successivo. La macrofotografia permette, perciò, una visione assai precisa sull'estensione dei rifacimenti di un'opera.



Naturalmente l'esame in luce radente e l'esame macrofotografico possono essere combinati per meglio determinare lo stato di adesione degli strati pittorici: verranno analizzati e documentati i più piccoli sollevamenti del colore dalla preparazione e della preparazione dal supporto insieme a tutti i difetti della superficie, guidando il restauratore nell'eventuale esecuzione di interventi localizzati e permettendo il controllo del risultato ottenuto dopo il restauro.

Il forte ingrandimento ottenibile con le tecniche macrofotografiche renderà evidente il reale stato di conservazione della pellicola pittorica: abrasioni, piccole lacune, residui di vecchie vernici o, come nel caso dell'immagine a fianco, corrosione dei margini della crettatura dovuta ad un antico intervento di pulitura eseguito con solventi molto aggressivi



3. Esami nel Dominio delle radiazioni Invisibili

Per effettuare indagini sui materiali e sullo stato di conservazione delle opere d'arte si sta sempre più diffondendo l'uso di radiazioni non visibili all'occhio umano. Tali sistemi, che con un termine inglese vengono definiti **remote sensing analysis**, poiché utilizzano dei mezzi che sono lontani dalla nostra percezione, consistono nell'impiego dei raggi ultravioletti (U.V.), dei raggi infrarossi (I.R.), dei raggi Rontgen (raggi X) e dei raggi gamma.

Queste tecniche richiedono l'impiego di una sorgente di radiazioni e di un ricettore capace di registrarne gli effetti sull'opera e di renderli percepibili all'occhio umano. A seconda del tipo di registrazione possiamo distinguere queste tecniche in fotografiche e strumentali, poiché la registrazione può essere fatta con pellicole fotografiche o con strumenti elettronici.

Di seguito, tratteremo dei seguenti tipi di esame:

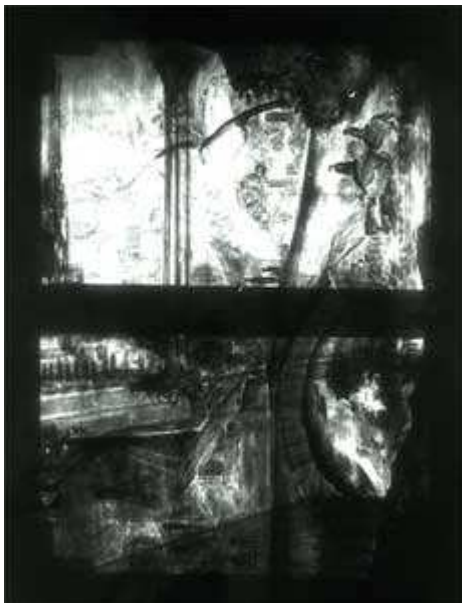
- **Fotografia all'Infrarosso**
- **La Riflettografia IR**
- **Fluorescenza UV**
- **La Radiografia RX**
- **Raggi Gamma**
- **La Fotogrammetria**
- **L'Olografia**
- **Gli Ultrasuoni**

3.1 Diagnostica con Fotografia all'infrarosso

Queste radiazioni sono utilizzate nel campo del restauro sia per il loro potere termico che per la loro proprietà di attraversare le vernici offuscate e determinati pigmenti rendendo visibili gli strati sottostanti. Le radiazioni infrarosse hanno lunghezza d'onda superiore a quella delle radiazioni visibili (quelle che hanno lunghezza d'onda compresa fra 750 e 1200 nm vengono dette «infrarosso fotografico», mentre quelle che hanno lunghezza d'onda superiore a 1200 nm vengono dette «infrarosso termico» e sono usate per la termo visione) non vengono quindi percepite dall'occhio umano ma possono essere registrate con diverse apparecchiature che vanno dalla semplice macchina fotografica alle complicate apparecchiature per la riflettografia a raggi infrarossi.

Le radiazioni elettromagnetiche che l'occhio umano percepisce sono comprese in un intervallo di lunghezze d'onda fra i 400 e i 750 nanometri circa. Al di là di questi limiti le radiazioni divengono a noi invisibili ma mantengono la capacità di interagire in vario modo con la materia (per assorbimento, riflessione, trasmissione etc.) proprio come avviene con la luce.

L'osservazione del loro comportamento richiede speciali tecniche che, nel caso dell'infrarosso più vicino alla luce visibile (fino a circa 900 nm.), possono limitarsi a quelle impiegate per la normale fotografia; naturalmente dovrà essere utilizzata una speciale pellicola sensibile a queste radiazioni e posto davanti all'obiettivo un filtro che blocchi la luce visibile. Si otterrà in questo modo un'immagine in valori di chiaro e scuro come si otterrebbe con una pellicola in bianco e nero ma costituita di sole radiazioni infrarosse.



La superficie di un dipinto, fotografata in questo modo, può apparire notevolmente differente da come ci appare normalmente: uno strato di colore, opaco alla luce visibile, potrà risultare parzialmente trasparente all'infrarosso mettendo in evidenza ciò che si trova al di sotto di esso come un disegno preparatorio, un pentimento o una lacuna.

Naturalmente non sempre e non tutta la pittura acquisterà trasparenza. Il risultato dipende dal tipo di pigmento impiegato, dal suo spessore, dalla sua macinazione, dalla natura e dalla quantità del legante e, infine, dalla lunghezza d'onda della radiazione infrarossa impiegata. E' per questo che per la rilevazione di disegni preparatori viene preferita la riflettografia all'infrarosso che, pur fornendo l'immagine su un monitor e quindi meno dettagliata, registra radiazioni di maggiore lunghezza d'onda aumentando, così, il potere di penetrazione sul film pittorico.

I risultati più interessanti in questo senso si ottengono esaminando dipinti di scuola fiamminga, proprio in funzione della tecnica specifica adottata in fase di esecuzione. Anche se non sempre sarà possibile rilevare ciò che si trova al di sotto dello strato pittorico, la metodica sarà comunque in grado di rendere trasparenti gli strati di vernice anche fortemente oscurati.

Permettendo una preventiva valutazione dell'opera come priva delle vernici alterate, lo svolgimento della pulitura di un dipinto, se preceduto da questa tecnica, potrà essere condotto con maggior sicurezza e precisione. Occorre tenere presente che i rapporti fra le varie parti dell'opera potranno risultare falsati nell'immagine infrarossa ma le figure, i panneggi, gli oggetti rappresentati verranno a riacquistare le loro sfumature chiaroscurali appiattite dalle vernici, mostrandosi così nella loro forma e modellato.





Un ulteriore contributo offerto dalla fotografia all'infrarosso nella diagnostica artistica riguarda l'individuazione delle parti non originali. Materiali di diversa natura chimica possono avere un comportamento simile fra loro quando sono colpiti da radiazioni visibili assumendo così lo stesso colore, come ad esempio il verdigris e il verde di cobalto o l'azzurrite e il blu oltremare artificiale, ma non necessariamente devono avere lo stesso comportamento anche in altre regioni dello spettro. Molti pigmenti stesi sulla pittura, puri o in mescolanza tra loro, sono dello stesso colore e perciò indistinguibili, ma nella fotografia all'infrarosso possono apparire più chiari o più scuri (materiali differenti, ma dello stesso colore, sulla superficie di un'opera possono derivare da ridipinture o altri interventi di restauro).

Per tentare di stabilire quanto della superficie di un dipinto è originale, si può ricorrere alla tecnica dell'infrarosso colore che registra, non solo il comportamento delle radiazioni IR ma, anche e contemporaneamente, quello di una parte dello spettro visibile. Utilizzando una speciale pellicola a colori facilmente reperibile in commercio e antepoendo all'obiettivo un filtro che ostacoli completamente le radiazioni blu, registreremo sulla stessa immagine le radiazioni verdi, rosse e infrarosse riflesse dal dipinto. A queste la pellicola attribuisce dei colori arbitrari: l'IR risulterà rosso, il rosso e il verde risulteranno rispettivamente verde e blu. L'osservazione dei colori ottenuti permetterà ulteriori approssimative valutazioni sulla presenza di determinati materiali e condurrà ad una migliore differenziazione di pigmenti apparentemente simili: il verde rame e il verde di cobalto, ad esempio, si mostreranno il primo magenta e il secondo blu. Bisogna infine aggiungere che, nella rilevazione dei ritocchi pittorici con gli esami all'infrarosso, si dà la possibilità di non raggiungere il risultato, ma può anche accadere che si vengano ad evidenziare delle parti non originali che l'esame in fluorescenza agli UV, a causa della presenza di antiche vernici, non aveva rivelato.



Le proprietà delle radiazioni infrarosse possono essere inoltre sfruttate per migliorare l'esame in luce trasmessa dei dipinti su tela. Osserviamo spesso dipinti completamente opachi in transilluminazione che formano in IR trasmesso ottime immagini.

Rispetto alle tecniche in IR riflesso, l'assenza totale della riflessione sulla superficie degli strati più esterni (spesso di intensità più elevata rispetto a quella delle radiazioni giunte agli strati più interni) aumenta le possibilità di osservare disegni preparatori e pentimenti. Nelle tecniche IR riflesso, inoltre, gli strati più esterni, che presentano la maggiore opacità, devono essere superati due volte: dapprima le radiazioni devono raggiungere lo strato sottostante per poi essere da questo parzialmente riflesse e superare nuovamente lo strato esterno. Nel caso della transirradiazione, invece, la radiazione dovrà attraversare la tela e la preparazione, ma incontrerà lo strato pittorico una sola volta. L'infrarosso trasmesso può servire ad integrare i dati ottenuti con la radiografia ai raggi X su dipinti a bassa radiopacità e con preparazioni a base di bianco di piombo o nel caso in cui si voglia rivelare un disegno preparatorio eseguito con nero d'avorio o nero carbone, non rilevabile con le tecniche radiografiche.

3.2. La Riflettografia

Uno dei più recenti impieghi dei raggi I.R. nel campo della conservazione è la riflettografia ad infrarossi che sfrutta la diversa trasparenza dei materiali ai raggi I.R. (con lunghezza di circa 2000 nm) per evidenziare gli strati immediatamente sottostanti. L'apparecchiatura consiste in una fonte emettitrice di I.R. (generalmente delle lampade a incandescenza) e in una telecamera e un monitor che rendono visibili all'occhio umano le radiazioni riflesse che formano l'immagine dell'oggetto in esame. I migliori risultati si ottengono generalmente in zone rosse, bianche, gialle o brune, mentre l'azzurrite e la malachite sono difficilmente penetrabili dai raggi I.R. Questo sistema permette soprattutto di evidenziare i disegni preparatori, eventuali pentimenti e restauri, oppure firme e date nascoste.

I raggi I.R. vengono impiegati con scopi analoghi a quelli che abbiamo indicato per i raggi U.V. con la spettrofotometria all'infrarosso (si veda il paragrafo sulle «analisi invasive»).

I raggi I.R. vengono usati anche per la **termografia** all'infrarosso il cui impiego nel campo della conservazione è iniziato da poco.

Questa forma d'indagine si basa sul fatto che qualsiasi oggetto che abbia una temperatura superiore allo zero assoluto ($- 273^{\circ} \text{C}$) emette delle onde elettromagnetiche che, con appositi strumenti, possono venir registrate su un monitor televisivo.

La termografia infatti permette di registrare e rendere visibili le radiazioni infrarosse emesse da un oggetto: ora, se tale oggetto non è omogeneo (anche se apparentemente sembra tale), se ne possono evidenziare le differenze di struttura riscaldandolo e poi registrandone l'immagine in fase di raffreddamento per mezzo della termografia infrarossa che evidenzia la diversa inerzia termica dei materiali che lo compongono.

Con la termografia ad infrarosso che registra e rende visibili le radiazioni I.R. con lunghezza d'onda compresa fra i 2000 e i 5600 nm

- si possono scoprire eventuali strutture architettoniche sottostanti a quelle visibili
- si può rilevare il microclima di un ambiente (il che è spesso di fondamentale importanza per la conservazione degli affreschi)
- si possono rilevare eventuali differenze termiche (che sono fonte di degrado) anche sui dipinti mobili

L'esame con la termografia ad I.R. del «Palazzo dei cavalieri» a Pisa ha permesso, ad esempio, d'identificare le strutture delle case medioevali dal cui accorpamento è nato l'edificio attuale dovuto alla ristrutturazione vasanana .

La riflettografia infrarossa si è affermata come la tecnica di indagine più efficace nel rivelare la presenza di disegni preparatori eseguiti dall'artista sopra lo strato di preparazione e coperti dalle stesure di colore.

La metodica può fornire una tale varietà di dati da consentire un notevole conforto alle ipotesi dello storico dell'arte, sia sulla genesi di un singolo dipinto che sulla personalità di un artista indagato attraverso una più ampia produzione, fino ad arrivare, estendendo la ricerca e verificando sistematicamente i dati con altre metodiche, a fornire notizie sulle tecniche di un periodo storico. In tutti i casi il mezzo tecnico, rivelandoci una serie di elementi originariamente destinati ad essere occultati alla vista, non solo amplifica le capacità documentarie dei vari dipinti, ma consente una più acuta rilettura della versione definitiva, ora svelata come immagine conclusiva di un processo creativo di cui è possibile ripercorrere alcuni specifici momenti.

In definitiva, come già è accaduto per la radiografia ai raggi X, la riflettografia all'infrarosso ha aperto nuove vie di confronto e di ricerca con cui gli storici dell'arte dovranno misurarsi sempre più spesso.

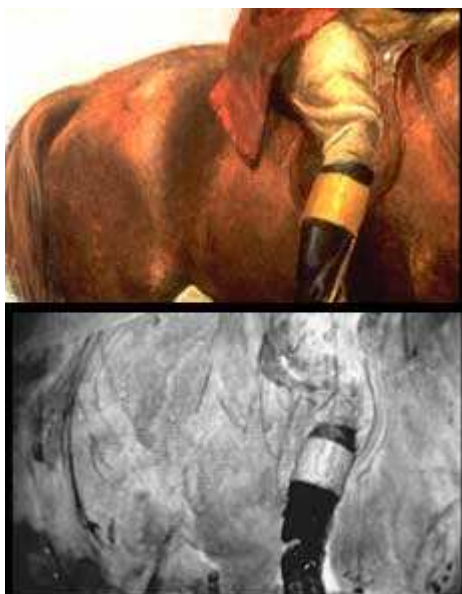




Per consentire l'indagine il dipinto viene illuminato da comuni lampade ad incandescenza collegate ad un variatore di tensione ed opportunamente orientate. Le radiazioni riflesse dal dipinto sono rilevate da un sistema di ripresa composto da una telecamera modificata per operare con tubo vidicon sensibile a radiazioni I.R. di lunghezza d'onda fino a 2.000 nanometri (con un picco di sensibilità intorno ai 1300 nm.) e provvista di un filtro che possa limitare la ripresa alla sola banda I.R. Il segnale viene convertito in una immagine in bianco e nero immediatamente visibile sullo schermo di un monitor televisivo ad alta risoluzione. A questo punto la registrazione delle immagini può essere eseguita sia fotografando il monitor con una normale fotocamera, sia riversando le sequenze su nastro magnetico (è inoltre possibile acquisire e digitalizzare l'immagine direttamente su Personal Computer tramite una scheda video).

L'elaborazione digitale delle immagini ottenute dalla telecamera all'infrarosso ne migliora la qualità agevolandone la lettura, viene inoltre utilizzata per la ricomposizione del disegno totale ottenuto dalle singole riprese. Infatti, a causa della bassa risoluzione del sistema televisivo, è necessario registrare soltanto piccole aree in successione, per poi unirle insieme in una specie di mosaico.

La qualità delle immagini può essere migliorata utilizzando una telecamera CCD ad alta risoluzione invece della tradizionale telecamera all'infrarosso con tubo Vidicon. L'estensione in lunghezza d'onda inferiore (1100 nm.) è compensata dalla maggiore sensibilità e dal basso rapporto segnale/rumore; inoltre, se è vero che a queste lunghezze d'onda lo spessore del film pittorico attraversato può essere inferiore, bisogna valutare che a lunghezze d'onda superiori si ottiene una diminuzione della riflettanza del gesso della preparazione con conseguente perdita di contrasto dell'immagine del disegno soprastante.



Per superare questi problemi è stato recentemente costruito uno scanner all'infrarosso ad alta risoluzione capace di analizzare aree grandi fino a quasi un metro quadro fornendo immagini prive di distorsioni geometriche, con ottimo contrasto e illuminate uniformemente. La natura delle immagini ottenibili è comunque legata alla permeabilità degli strati di colore alla radiazione infrarossa - determinata non solo dalla natura chimico-fisica dei pigmenti ma anche dal loro spessore - e dalle caratteristiche dei componenti sottostanti che possono evidenziarsi solo grazie a differenze di riflettanza: un disegno ottenuto con inchiostro metallo gallico sarà, ad esempio, difficilmente restituibile a causa della riflettanza sostanzialmente simile a quella di una preparazione a base di gesso e colla.

Il mancato rivelarsi di immagini latenti sotto la superficie di un'opera potrà non essere considerato come un fallimento dell'esame se non ci limiteremo ai risultati di ricerche isolate ma mireremo ad un'applicazione sistematica a consistenti gruppi di opere di un autore o di un periodo, al fine di creare un archivio di schede che successivamente possano permettere un giudizio comparativo.

Il disegno preparatorio veniva utilizzato da alcuni artisti come rigide griglie da rispettare ad ogni colpo di pennello, talvolta chiaroscurati a tratteggio o a macchie venivano sfruttati per dare maggiore profondità alle ombre; altre volte il pittore faceva uno schizzo molto libero e in seguito ne seguiva le tracce approssimativamente. Lo spessore, l'intensità, la fusione dei tratti del disegno come pure la loro assenza sono tutti elementi di pari valore quando sia possibile una ampia comparazione



3.3 Fluorescenza UV

Si chiamano così quelle radiazioni elettromagnetiche che hanno lunghezza d'onda compresa all'incirca fra i 100 ed i 400 millimicron. Come accade anche per le radiazioni visibili, un oggetto colpito dai raggi ultravioletti può rifletterli o assorbirli in maniera differenziata a seconda dei materiali di cui è composta la sua superficie; questa infatti può emettere dei raggi U.V. «riflessi» che non sono percepibili dall'occhio umano ma possono venir registrati fotograficamente (con una pellicola in bianco e nero munita di un filtro che, bloccando le radiazioni visibili, faccia passare solo i raggi U.V. riflessi). I raggi U.V. possono anche eccitare i materiali colpiti provocando un fenomeno detto «fluorescenza ultravioletta» che è sia percepibile all'occhio umano sia registrabile fotograficamente (con una pellicola a colori e un filtro che blocchi i raggi U.V. riflessi e faccia passare le radiazioni visibili).

La fonte usata per emettere i raggi U.V. è la cosiddetta «lampada di Wood» che prende il nome dal fisico americano che nel 1913 riuscì a costruire una lampada (a vapori di mercurio) che emettesse solo radiazioni ultraviolette.

Con i raggi U.V. si possono evidenziare scritte offuscate (con l'ultravioletto riflesso) o successivi ritocchi e ridipinture che appaiono come macchie più scure e più opache rispetto alla policromia originale (con la fluorescenza). Le vernici originali appaiono generalmente come uno strato lattiginoso semitrasparente ma, poiché vi sono alcune vernici la cui fluorescenza impedisce l'esame degli strati sottostanti, i dipinti vengono spesso sverniciati prima dell'esame con i raggi U.V. Queste radiazioni vengono impiegate anche per la **spettrofotometria** all'ultravioletto che, basandosi sulla specifica e nota reattività di ogni elemento ai raggi U.V., permette di stabilire quali sono gli elementi presenti in un microcampione (solubilizzato) prelevato da un'opera d'arte (si veda il paragrafo sulle «indagini invasive»).

Tra i metodi di esame dei dipinti la fluorescenza all'ultravioletto (uv) è sicuramente uno dei più apprezzati e diffusi. Questa tecnica è utilizzata principalmente nella fase di accertamento dello stato di degrado dell'opera e, più in particolare, nella verifica dell'esistenza e dell'estensione delle parti non originali del tessuto pittorico. Non sempre è infatti facile stabilire quanto di ciò che è visibile sulla superficie di un dipinto sia originale e quanto invece sia stato aggiunto in seguito.

Proiettando un fascio di raggi uv sulla superficie di un dipinto potremo osservare come alcune parti di esso si illuminino mentre altre rimangano scure. Questo è dovuto al fenomeno fisico della fluorescenza ultravioletta nel campo del visibile, cioè

alla proprietà che hanno alcune sostanze di illuminarsi quando vengono colpite dai raggi uv. In pratica i raggi uv (a noi invisibili) vengono assorbiti e riemessi come raggi visibili. Le differenti luminosità (fluorescenza)

osservabili su un dipinto 'illuminato' da una lampada uv sono in funzione non solo della



composizione chimica delle varie sostanze che costituiscono la vernice protettiva e gli strati pittorici ma variano anche in base al tempo che è trascorso da quando questi materiali sono stati applicati. Ecco perché con questo esame è spesso facile differenziare le ridipinture dalla pittura originale: i materiali sovrapposti, essendo meno antichi, risultano infatti più scuri. Infatti, con l'invecchiamento si formano fra leganti e pigmenti delle reazioni chimiche che rendono questi composti più fluorescenti, mentre le reintegrazioni pittoriche più recenti dove queste reazioni non hanno potuto aver luogo appaiono come macchie opache (meno fluorescenti).

Possono comunque insorgere delle difficoltà nel riconoscere i restauri in fluorescenza uv non solo nei casi in cui questi sono stati eseguiti a breve distanza di tempo dall'esecuzione dell'originale ma anche per la forte fluorescenza che spesso mostrano le vernici sovrapposte al colore: maggiore è la fluorescenza di queste e minore sarà la fluorescenza dello strato pittorico sottostante. Inoltre le lacune delle vernici antiche, quando sono in corrispondenza di zone di pittura scura e perciò non fluorescenti benché originali, possono apparire sotto forma di macchie molto scure spesso difficili da distinguere da una ridipintura. Risulterà quindi chiara la necessità di affiancare a questo esame anche altre tecniche che condurranno alla conferma o alla correzione di queste prime osservazioni.





Caso evidente della necessità di un confronto tra più esami è quando, nelle fasi di pulitura di un dipinto, ci si trova davanti al problema della rimozione di precedenti restauri. Se attraverso gli esami effettuati sappiamo quanto è stato aggiunto sulla superficie di un dipinto ancora non possiamo stabilire quanto al di sotto dei restauri è conservato di originale. In passato il restauro non aveva infatti altro scopo che quello di risarcire i danni e vaste aree di pittura venivano coperte da nuovi strati di colore solo perché vicine a mancanze da completare.

La rimozione delle ridipinture può ovviamente essere giustificata solo se l'aggiunta deturpa, snatura, offusca o sottrae in parte alla vista l'opera d'arte, come nel caso di un restauro eseguito debordando oltre la effettiva estensione delle mancanze. Il confronto che proponiamo a titolo d'esempio tra i risultati ottenuti in fluorescenza uv e con la tecnica della luce trasmessa può risultare essenziale per stabilire se l'aggiunta copre parte dell'originale o se, al di sotto di questa, vi è una mancanza di uguali dimensioni.

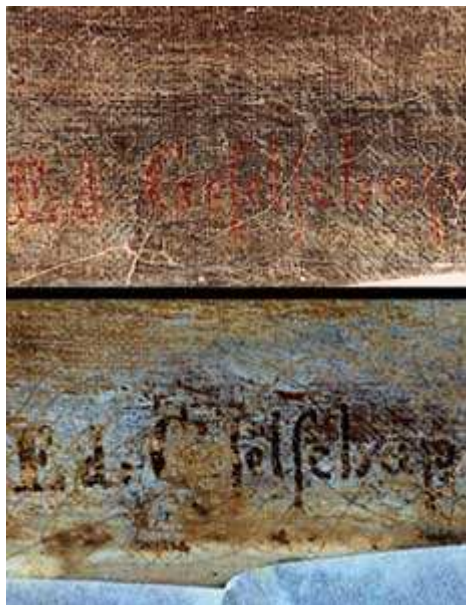


Per l'accertamento di vari strati di vernice la fluorescenza UV risulta una delle tecniche di indagine più importanti. Vernici a base di resine naturali, colle, olii, o altre sostanze di origine organica come la chiara d'uovo (spesso stesa a protezione di dipinti su tavola), verranno messe in evidenza permettendoci di verificare, oltre alla loro presenza, anche il loro sovrapporsi e la loro maggiore o minore omogeneità.

La mancanza di omogeneità può essere dovuta ad una stesura irregolare ma anche ad interventi di rimozione differenziata.

Durante le operazioni di pulitura di un dipinto l'aiuto offerto da ripetuti controlli sotto la lampada di Wood darà modo di verificare il lavoro svolto, potrà essere controllato il grado di omogeneità dell'assottigliamento di una vernice, la presenza di un secondo strato al di sotto di questa, così come potranno essere evidenziate macchie di colla o altri materiali, residuo di precedenti interventi.

La fluorescenza delle vernici, anche se in certi casi può impedire la visione degli strati sottostanti, non deve, perciò, essere considerata una limitazione all'esame ma parte dell'esame stesso.



Per stabilire l'antichità di una pittura la fluorescenza UV non può essere considerata di per sé come esame conclusivo poiché esistono molti materiali che sviluppano una forte fluorescenza ancor prima del completo essiccamento. Vi sono inoltre dei procedimenti capaci di accelerare i processi di degradazione della pittura che, in poco tempo, rendono gli strati pittorici ingialliti e fluorescenti. Un dipinto antico che non mostra fluorescenza alla lampada di Wood dovrà, comunque, metterci in sospetto e sarà necessario verificare attentamente se ciò non sia dovuto a stratificazioni di sporco, a pigmenti o altri materiali colorati che, inglobati o mescolati nella vernice, impediscono la penetrazione delle radiazioni ultraviolette. In questo caso assottigliando lo strato di vernice si potrà giudicare la fluorescenza della pittura sottostante. Anche le firme e le date dovranno essere osservate con attenzione in fluorescenza uv poiché ogni alterazione, modifica o aggiunta può essere resa ben evidente.

3.4. La Radiografia RX

I raggi X o Rontgen (dal nome del fisico tedesco che ne scoprì l'esistenza nel 1895) sono delle radiazioni elettromagnetiche la cui lunghezza d'onda si situa fra quelle degli U.V. e quelle dei raggi gamma. L'impiego dei raggi X nel campo della conservazione è prezioso in quanto essi possono attraversare anche corpi opachi di notevole spessore. L'immagine che appare sulla lastra radiografica è determinata dal minore o maggiore assorbimento di raggi X da parte dell'oggetto in esame e soprattutto dalla maggiore opacità ai raggi X di certi pigmenti. Infatti i pigmenti con elevato peso atomico, come quelli che contengono piombo o mercurio (biacca, minio, litargirio e cinabro), assorbono maggiormente i raggi X per cui, sulla lastra, risultano più chiari mentre i pigmenti organici e certi pigmenti minerali (di basso peso atomico) appaiono scuri.

Per l'esame radiografico della pellicola pittorica è inoltre di fondamentale importanza che il supporto sia relativamente trasparente ai raggi X ma, fortunatamente, i supporti dei dipinti da cavalletto, su cui di solito viene attuato questo tipo d'indagine, assorbono poco i raggi X come pure le preparazioni a base di gesso e colla (a differenza di quelle a base di biacca, bianco di zinco o di titanio, tipiche del XIX secolo).

La radiografia di un quadro può fornire informazioni:

- sulla tecnica usata dal pittore;
- su eventuali stesure sottostanti e
- può anche aiutare a stabilire l'autenticità di un'opera.

Se l'abbozzo di un quadro viene tracciato con pennellate di biacca (come spesso avviene nei quadri del XVI e XVII secolo) risulta perfettamente visibile nella radiografia, mentre nel caso di quadri condotti con leggere velature successive (come quelli di Leonardo), l'indagine radiografica è poco contrastata e leggibile. Se il pittore ha usato una tela od una tavola già dipinta o ha coperto stesure precedenti (specialmente se queste erano ottenute con spesse pennellate di biacca) le immagini sottostanti risultano chiaramente visibili (si vedano le radiografie dell'«Olympia» di Manet, del «Ritratto di un giovane uomo» di Rembrandt e del «Martirio di S. Matteo» di Caravaggio).

Infine, disponendo delle radiografie di un certo numero di quadri dello stesso autore, è possibile identificare alcune caratteristiche «interne» della sua tecnica difficilmente imitabili da un falsario. I raggi X purtroppo sono di scarso aiuto nell'analisi delle sculture poiché i vari piani, che risultano sovrapposti sulla lastra, provocano notevoli difficoltà di lettura. I raggi X vengono impiegati anche per altri tipi di indagini «invasive» e precisamente: la fluorescenza e la diffrattometria ai raggi X (si veda il paragrafo sulle analisi «invasive»).

La radiografia ai raggi X permette di indagare la struttura più profonda dei dipinti su tela e tavola, carta e cartone: i valori di chiaroscuro restituiti sulla lastra posta a diretto contatto della superficie pittorica e investita dal fascio di raggi X (opportunamente dosati variando il voltaggio del tubo) risulteranno in funzione del maggiore o minore assorbimento delle radiazioni da parte dell'oggetto in esame. Nella lettura della lastra radiografica è importante tenere presente, oltre allo spessore degli strati, la decisa opacità dei pigmenti a forte peso atomico (in particolare bianco di piombo).

Sulla lastra si formeranno perciò delle zone più chiare e più scure in funzione della resistenza che le varie parti dell'oggetto opporranno al passaggio dei raggi X: a parità di spessore appariranno più chiare le zone di maggiore densità.



L'interpretazione dei risultati radiografici presenta delle oggettive difficoltà che spesso finiscono per limitare il numero di informazioni: ciò che si ottiene con l'esame è, infatti, un'immagine bidimensionale nata dalla proiezione sul piano di elementi distribuiti nello spazio (supporto, preparazione, film pittorico), con ciò che questo comporta sulla difficoltà di una loro precisa identificazione. Anche se l'indagine si basa prevalentemente sullo studio delle variazioni provenienti dalla composizione dello strato pittorico (sarà perciò sempre questo ad essere restituito nella maniera più nitida proprio per la scelta nella posizione della lastra), l'immagine radiografica dovuta al supporto ed alla preparazione può comunque aiutare a chiarire alcuni aspetti del processo creativo e della tecnica di esecuzione e a valutare il reale stato di conservazione dell'opera.

Un disegno preparatorio eseguito dal pittore con una punta di piombo o inciso, pur sfuggendo ad altri esami come la riflettografia infrarossa, darà una precisa immagine sulla lastra radiografica.

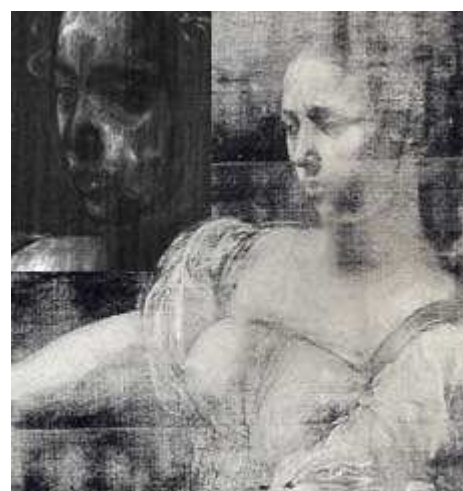
Ben evidente sarà poi l'entità del danno provocato dai cunicoli dei tarli che, se non sono stati colmati con stucco, assumeranno una gradazione scura. Si identificherà l'andamento dei chiodi impiegati per fissare le traverse di sostegno nei dipinti su tavola e il diffondersi della ruggine all'estremità dei chiodi o, ancora, la presenza di altri elementi come cavicchi in legno o metallo (incastro a caviglia). Tutte informazioni, queste, che possono risultare determinanti nel momento della scelta del tipo di intervento da eseguire.



Talvolta la radiografia rileva la presenza di pitture sottostanti più antiche e più importanti, o anche di firme o scritte nascoste, ma simili fortunati casi rischiano di fare considerare la radiografia come un mezzo che trae principalmente frutto da un esame isolato mentre essa si rivela uno strumento essenziale dell'indagine artistica quando applicata con sistematicità e metodologie comparative.

L'indagine radiografica non si esaurisce nella valutazione dello stato fisico dell'opera (lacune, craquelure, consunzioni, etc.), ma acquista sempre più importanza nella conoscenza del modo di operare del pittore fino a rendere possibile uno studio comparativo che possa condurre a facilitare il riconoscimento di opere autentiche o appartenenti ad un determinato autore.

Da quando, con la nascita della pittura ad olio, il tono finale non viene più raggiunto attraverso stratificazioni di colore successive ma mescolando i diversi pigmenti col bianco l'impasto diviene ricco e corposo. L'immagine radiografica, di conseguenza, permette di distinguere chiaramente i singoli tratti di pennello: se la materia è più o meno carica di colore, se è stata applicata con maggiore o minore pressione, il carattere, la sicurezza e la precisione della pennellata ed anche quando è stato necessario ritornare a correggere quanto già era stato dipinto, esaltando così certi aspetti grafici dello stile. Ciò che viene messo in maggiore evidenza sono gli strati profondi, densi e corposi, ai quali l'artista lavora con maggiore spontaneità e impeto anche perché destinati ad essere coperti da stesure successive. Si comprende allora quanto decisivo risulterà il contributo della radiografia eseguita su più versioni di una stessa opera o, ancor più, estesa a un folto gruppo di opere di un singolo artista.



Radiografia ai raggi X della Giuditte di Caravaggio. Nel riquadro radiografia della copia realizzata per la sezione tecniche.

3.5 I Raggi gamma

Tali radiazioni, di impiego relativamente recente, possono avere diverse utilizzazioni in campo artistico. Ovviamente vanno impiegate con le dovute precauzioni poiché si tratta di radiazioni molto pericolose per gli organismi viventi. Tale caratteristica fa sì che i raggi gamma possano venir utilizzati anche come disinfestanti oltre che come catalizzatori di alcune resine impiegate per il consolidamento del legno.

I raggi gamma infine possono venir utilizzati per l'indagine in profondità di oggetti tridimensionali (statue, ecc.) eseguiti con materiali molto «opachi» (come marmo e bronzo) in modo simile a quello che abbiamo visto per i raggi X: l'immagine dell'oggetto viene infatti registrata su una lastra radiografica posta alle spalle dell'oggetto stesso

3.6 La Fotogrammetria

Con la fotogrammetria è possibile ottenere l'immagine (grafica) stereoscopica di un oggetto con le misure esatte e perfettamente in scala, evitando il lungo lavoro del rilevamento diretto. La fotografia riproduce fedelmente un oggetto solo qualora questo sia piano e posto perpendicolarmente all'asse ottico di ripresa. Nel caso di un oggetto tridimensionale l'immagine fotografica costituisce dunque una proiezione sul piano dei diversi punti di un oggetto altrimenti disposti nello spazio. Per ottenere la raffigurazione esatta di un oggetto tridimensionale sono dunque necessario due riprese fotografiche eseguite da angolazioni diverse (analogamente a quanto avviene per la ripresa o la visione stereoscopica). Tale è appunto il metodo della fotogrammetria che consiste nella rilevazione fotografica e nella riproduzione grafica di un oggetto, di un monumento o di un paesaggio utilizzando due camere fotogrammetriche (che sono delle macchine fotografiche con particolari caratteristiche) montate all'estremità di un cavalletto, il che consente il posizionamento delle camere in maniera che la loro distanza e l'angolazione siano ben determinate.

Tale metodo permette dunque una rilevazione estremamente precisa della geometria di un oggetto e può quindi essere impiegato per registrare fedelmente lo stato di un manufatto e le sue eventuali modificazioni nel tempo.

Il rilievo fotogrammetrico può essere usato per studiare un edificio (ed il suo eventuale stato di degrado) ma anche una statua o un affresco; recentemente infatti è stato impiegato, assieme ad altri metodi, nel «Salone dei 500» (in palazzo Vecchio a Firenze) per ricercare le tracce dell' «affresco» di Leonardo raffigurante la «Battaglia di Anghiari».

3.7 L'Olografia (indagini con il raggio laser)

Il termine olografia deriva dal greco e significa «registrazione integrale». Infatti per mezzo dell'olografia si può registrare su una pellicola simile a quelle fotografiche l'immagine tridimensionale dell'oggetto in esame. Tale sistema, concepito nel 1947 dal fisico americano Dennis Gabor, divenne di più largo impiego a partire dal 1960, cioè dopo l'avvento del laser, infatti l'immagine registrata diventa visibile illuminando l'ologramma con la luce di un laser (che è rigorosamente monocromatica, cioè con una sola lunghezza d'onda). Oltre all'evidente vantaggio di fornire una documentazione tridimensionale dei manufatti artistici, tale sistema è stato usato anche per studiare lo stato di degrado non immediatamente percepibile di taluni oggetti (ad esempio le alterazioni degli strati profondi di un dipinto su tavola) e le reazioni di alcuni materiali a determinati stress

3.7 Gli Ultrasuoni

Gli ultrasuoni vengono usati nel campo del restauro sia per scopi diagnostici sia per scopi operativi (pulizia di oggetti d'arte), ma qui ci interessano soprattutto i primi. Con gli ultrasuoni infatti si possono ottenere informazioni sulle discontinuità eventualmente presenti all'interno di un mezzo mate-

riale.

Come è noto gli ultrasuoni sono onde sonore che hanno frequenza superiore ai 20.000 Hz (sono percepibili le onde sonore con frequenza compresa fra i 20 e i 20.000 Hz) e la loro velocità di propagazione (V) dipende dalla densità (D) e dalla elasticità (E) del mezzo materiale entro cui si diffondono ($V = E/D$). Le onde sonore infatti si propagano più rapidamente nell'acqua (1430 m/sec.) o in un corpo metallico (5000 m/sec.) che nell'aria (340 m/sec.). Ogni mezzo materiale tuttavia oppone una certa resistenza all'attraversamento da parte di un fascio di ultrasuoni, tale resistenza viene detta impedenza acustica (Z) ed è il prodotto della densità del mezzo (D) per la velocità (V) di propagazione in esso degli ultrasuoni ($Z = D \times V$). Attraversando materiali di differente impedenza acustica il fascio ultrasonico viene in parte trasmesso e in parte riflesso. Nelle indagini con ultrasuoni si calcola il tempo che intercorre fra l'emissione degli ultrasuoni e l'eco di ritorno provocata da qualche discontinuità materiale nel mezzo in esame (si parla infatti di ecografia a ultrasuoni). Questo tempo (T) è strettamente correlato con lo spazio (S) percorso dagli ultrasuoni e con la loro velocità (V); pertanto conoscendo una di queste due grandezze e misurando il tempo si può risalire all'altra, giacché $S = V \times T$. Se ad esempio conosciamo lo spessore di un corpo, possiamo risalire, per mezzo di questa formula, alla velocità di propagazione degli ultrasuoni nel mezzo stesso e questo ci può fornire importanti informazioni sullo stato di conservazione di tale materiale poroso (pietra, intonaco), giacché quanto più questo è poroso (e quindi degradato) tanto più lentamente si propagano in esso le onde sonore.

Viceversa, conoscendo la natura di un materiale e quindi la velocità di propagazione in esso degli ultrasuoni (esistono apposite tabelle) si può risalire alla determinazione del suo spessore. Bisogna tuttavia tener presente che tale metodo d'indagine va utilizzato con la dovuta cautela, giacché gli ultrasuoni possono sottoporre i materiali analizzati a pericolosi stress fisici.

4. Indagini Invasive

Le indagini si possono poi distinguere due categorie: "esami non distruttivi" ed "esami distruttivi". La distinzione dei metodi d'indagine in «**distruttivi**» e non «**distruttivi**» può dar luogo a qualche equivoco, bisogna precisare infatti che le indagini cosiddette «distruttive» comportano il prelievo di un campione microscopico che non arreca alcun danno all'estetica e alla consistenza materica dell'opera e la cui analisi, per contro, può contribuire a rallentare o a prevenire i processi di degrado dell'opera stessa.

- La Stratigrafia
- Analisi Chimiche
- Analisi Istochimiche
- Cromatografia
- Gascromatografia
- Cromatografia di Ripartizione
- Cromatografia di Assorbimento
- Spettrofotometria di Assorbimento
- Diafrattometria a Raggi X
- Fluorescenza ai Raggi X
- Spettrografia di emissione
- Spettrometria di assorbimento
- Spettrometria di massa

Le tecniche di indagine analitiche e diagnostiche applicabili alle opere d'arte vengono di solito distinte in due grandi classi:

- **invasive**, che richiedono il prelievo di un campione, cioè l'asportazione di quantità minime di materia dell'opera, da sottoporre ai vari esami (cromatografia, colorazione istochimica, etc.);
- **non invasive**, che, come la radiografia ai raggi X o la riflettografia infrarossa, possono essere eseguite direttamente sull'opera interagendo con le superfici attraverso varie forme di energia.

I metodi invasivi sono a loro volta distinti in distruttivi (i primi e per lungo tempo gli unici ad essere utilizzati), che comportano la modifica o la distruzione del campione esaminato e non distruttivi che, come la spettrofotometria di riflettanza o la fluorescenza a raggi X, permettono lo studio della natura e della struttura del campione senza che questo venga modificato o alterato.

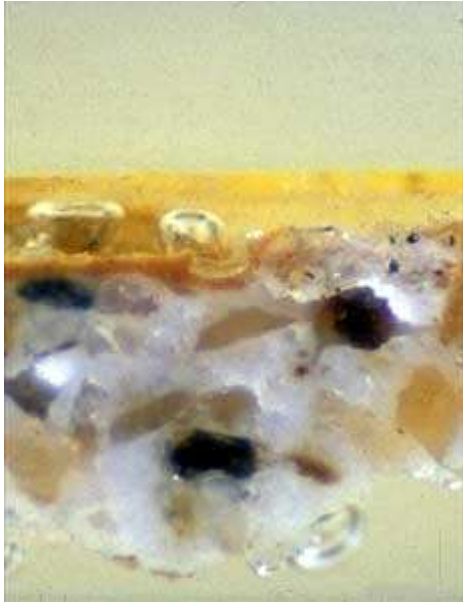


Quando alla soluzione di uno specifico problema che deve essere investigato si pone la possibilità di scelta fra le varie tecniche di indagine, la tendenza attuale è quella di dare quanto più possibile spazio alle tecniche non invasive. E' doveroso, però, sottolineare che fra le tecniche che richiedono il prelievo vengono utilizzate soltanto quelle che necessitano di campioni piccolissimi. Il campionamento, cioè la scelta delle aree più significative e rappresentative, viene predisposto in modo da limitarsi ai prelievi veramente indispensabili e alle zone meno importanti in relazione al contenuto espressivo dell'opera. Inoltre i prelievi verranno effettuati, preferibilmente sui margini di lacune già esistenti, da persone esperte e con tecniche e strumenti scelti caso per caso: bisturi, siringhe, nastri adesivi, carotatrici, pennelli, etc.

La necessità di ricorrere ad esami di tipo invasivo è legata alla soluzione di specifici problemi analitici (ad esempio per l'identificazione di materiali organici e inorganici, di origine naturale o artificiale) e ad una serie di limitazioni legate ai metodi non invasivi (alcune imposte dai materiali stessi come nel caso della fluorescenza a raggi X che si attiva soltanto su prodotti inorganici).

La distruzione o modifica del campione si rende necessaria ad esempio con la cromatografia che permette di separare e dosare i componenti di un miscuglio o con le microanalisi che prevedono l'identificazione dei materiali attraverso l'osservazione al microscopio di formazioni di cristalli o di colorazioni caratteristiche a seguito di reazioni chimiche indotte.





La possibilità di conservare il campione intatto (esami invasivi non distruttivi) rende possibile un continuo aggiornamento in funzione dello sviluppo delle tecniche di analisi. La manipolazione del campione prevede a questo fine il suo inglobamento in resina poliestere e, nel caso dell'applicazione allo studio delle strutture pittoriche dei dipinti, un taglio perpendicolare alla superficie per permetterne lo studio in sezione (sezione stratigrafica). Ciò permette di ottenere numerosi dati analitici sulla composizione di ogni singolo strato, sulla loro successione, su ogni alterazione o modifica ad essi intercorsa, contribuendo all'elaborazione di metodi capaci di arrestare eventuali processi di degrado, all'individuazione di aggiunte o rifacimenti, nonché a chiarire alcuni aspetti dei materiali costitutivi rendendo notevoli contributi in campo storiografico attribuzionistico.

Note di approfondimento

4.1 La Stratigrafia

La stratigrafia consiste in un microcampione prelevato da un'opera d'arte lungo un piano perpendicolare alla sua superficie, in modo tale da evidenziare i vari strati della preparazione, del colore e delle eventuali ridipinture da cui è composta l'opera.

Per l'esattezza esistono due tipi di stratigrafie:

- le cosiddette **cross-section** che hanno una sola superficie piana e
- le **sezioni sottili** che hanno due superfici piane e parallele così ravvicinate fra loro da risultare semitrasparenti e quindi attraversabili da opportune radiazioni che servono per indagare la composizione del campione in esame.

Le sezioni vengono preparate nel modo seguente: il campione viene inglobato in una resina trasparente (acrilica, epossidica, poliestere ecc.) che poi viene fatta indurire con opportuni catalizzatori. Il blocchetto di resina viene quindi sezionato (col microtomo) e la sezione viene levigata con carta abrasiva molto sottile e montata fra due vetrini per sottoporla alle indagini col microscopio (ottico ed elettronico), con i raggi I.R., U.V. e con la microsonda elettronica nonché ad analisi chimiche e istochimiche.

Ovviamente per esaminare una stratigrafia ci si serve del microscopio (da 20x a 200x) come pure per effettuare eventuali analisi chimiche su questi microcampioni (per stabilire ad esempio la natura dei pigmenti usati). Montando sul microscopio una macchina fotografica si possono fotografare sia le stratigrafie sia le eventuali reazioni chimiche eseguite su di esse.

4.2 Le Analisi Chimiche e Istochimiche

L'**analisi chimica** permette d'identificare gli elementi presenti in un campione (analisi qualitativa). Questo tipo di analisi, tuttora impiegato per le prove più semplici, viene sostituito sempre più spesso dalle analisi che si basano su mezzi fisici poiché permettono una maggiore precisione e soprattutto l'impiego di minori quantità di campione.

L'analisi chimica, che s'effettua soprattutto sui materiali inorganici (pigmenti d'origine minerale, sali inquinanti ecc.), consiste nel verificare la presenza o meno di un determinato elemento caratterizzante in un campione di cui si è già ipotizzata la composizione. Da quanto detto risultano evidenti i limiti di questo metodo che però, rispetto alle analisi attuate con mezzi fisici, presenta una maggiore facilità d'esecuzione e richiede minor attrezzatura.

Le analisi istochimiche, che si basano soprattutto su reazioni colorimetriche, servono per identificare la classe di appartenenza e la localizzazione di una sostanza organica in una «sezione sottile». Tali analisi sono dunque meno precise di quelle chimiche: possono stabilire, ad esempio, se un legante è proteico o oleoso ma non di quale tipo di proteina o di olio si tratti. Attualmente le analisi istochimiche servono soprattutto per distinguere i leganti di natura proteica da quelli di natura oleosa ma è ovvio che il riconoscimento dei leganti originali può venir disturbato dalle interferenze dovute a sostanze aggiunte in tempi successivi.

Per identificare i vari tipi di proteine presenti nelle opere d'arte (proteine dell'uovo, delle colle animali, della caseina) è in fase di studio l'impiego dell'immunofluorescenza.

4.3 Le Analisi Fisiche

Questo tipo di indagini ha il vantaggio di offrire risultati molto più precisi (qualitativi e quantitativi) ma richiede apparecchiature sofisticate e costose e dei tecnici in grado di utilizzarle e di interpretarne i risultati. Ricorderemo fra queste:

La **Cromatografia** che, con microcampioni della sostanza in esame, permette di ottenere analisi qualitative (assai precise) e con talune tecniche (come la **gascromatografia**) anche analisi quantitative. Va detto infatti che esistono diversi tipi di cromatografia che comunque si basano tutti sulla separazione delle diverse sostanze presenti nel campione (che va prima solubilizzato) e quindi sul loro riconoscimento. Le varie sostanze vengono distribuite in due fasi differenti di cui una (detta fase mobile) è in movimento rispetto all'altra (detta fase stazionaria). Quando le due fasi sono liquide si chiama «**cromatografia di ripartizione**», mentre quando la fase stazionaria è solida si chiama «**cromatografia di assorbimento**». Fra i diversi tipi di cromatografia ve ne sono alcuni (cromatografia su colonna, su carta o su strato sottile, ecc.) che richiedono una strumentazione piuttosto limitata e poco costosa mentre altri, come la gascromatografia abbisognano di una strumentazione più complessa e costosa. Tuttavia anche la cromatografia su carta e su strato sottile non sono di semplice impiego per un restauratore poiché richiedono una lunga e complicata messa punto delle condizioni operative. Va detto inoltre che sia la cromatografia su carta che quella su strato sottile sono più adatte all'esame delle sostanze idrofile (quali ad esempio i leganti proteici) che di quelle lipofile (come i leganti oleosi).

Come s'è detto la più precisa fra questo tipo di analisi è la gascromatografia che è particolarmente adatta all'esame delle sostanze organiche. Il campione, in questo caso, va prima volatilizzato ed il risultato è costituito da un grafico (gascromatogramma) i cui picchi sono caratteristici di ciascuna sostanza.

Di recente impiego è infine la **pirolisi-gascromatografica** che permette l'impiego della gascromatografia anche per sostanze non gassificabili. Tali sostanze vengono infatti sottoposte ad una scissione termica (pirolisi) portandole a 500-1000° C, il che ne provoca la scissione in piccole molecole gassose.

La **Spettrofotometria di assorbimento**, che si può attuare con radiazioni di U.V. o I.R., si basa sul fatto che, quando un fascio di radiazioni elettromagnetiche attraversa una sostanza, nel fascio trasmesso, alcune radiazioni con determinate lunghezze d'onda, diminuiscono d'intensità. Lo spettro delle radiazioni trasmesse, che viene registrato graficamente, prende il nome di «spettro di assorbimento» ed è caratteristico di ciascuna sostanza. Con tale sistema si possono dunque effettuare analisi qualitative di sostanze organiche, impiegando i raggi I.R., o organiche e inorganiche, usando i raggi U.V., ed anche analisi quantitative che però sono limitate ad alcune sostanze e non sono molto precise. Bisogna ricordare infine che per l'indagine con i raggi U.V. il campione va preventivamente solubilizzato.

La **Diffrazione ai raggi X** si applica unicamente alle sostanze inorganiche di natura cristallina (pigmenti minerali, prodotti di corrosione, materiali lapidei) e si effettua bombardando con i

raggi X il campione da analizzare che li diffrange. I raggi X diffratti vengono registrati graficamente o per mezzo di una pellicola fotografica e, i risultati ottenuti, permettono di giungere al riconoscimento qualitativo e quantitativo delle sostanze presenti nel campione confrontando il grafico o la lastra ottenuti con quelli, già predisposti, di diverse sostanze cristalline.

La Fluorescenza ai raggi X si basa sul fatto che alcuni materiali colpiti da radiazioni elettromagnetiche con determinata lunghezza d'onda ne emettono altre con lunghezza d'onda superiore. Tale fenomeno può cessare col cessare della radiazione incidente (fluorescenza) o può durare anche dopo che questa è terminata (fosforescenza).

Ora alcuni elementi colpiti con raggi X, di nota lunghezza d'onda, emettono raggi X con lunghezza d'onda superiore ma strettamente correlata al loro numero atomico. Analizzando così le radiazioni emesse (per mezzo di un particolare rilevatore che registra la lunghezza d'onda e l'intensità di tali radiazioni) si può giungere all'identificazione qualitativa e quantitativa degli elementi presenti nel campione. Questo tipo d'indagine è però limitata ai materiali inorganici.

La Spettrografia di emissione sfrutta il fenomeno per cui, fornendo energia termica o elettromagnetica ad una sostanza, gli elettroni in essa contenuti «saltano» a più elevati livelli di energia. Cessata l'irradiazione gli elettroni tornano ai livelli originari emettendo radiazioni elettromagnetiche che corrispondono alla differenza di energia fra il livello di partenza e quello di arrivo. L'insieme delle radiazioni emesse costituisce uno spettro detto «di emissione» (registrato graficamente) che è caratteristico della sostanza eccitata. Tale sistema permette di effettuare indagini qualitative e quantitative su campioni anche piccolissimi e viene impiegato soprattutto per il riconoscimento dei metalli (è più adatto per le analisi elementari che per i composti).

La Spettrometria di assorbimento atomico analizza e registra l'energia assorbita dagli elettroni di una sostanza per saltare da un livello più basso ad uno più alto (il contrario della spettrografia di emissione). Questo tipo di indagine serve per effettuare analisi quantitative di elementi inorganici. La sostanza che contiene l'elemento da analizzare va prima diluita.

La Spettrometria di massa si basa su un processo di frammentazione delle molecole della sostanza da analizzare (che viene previamente gassificata) e quindi sulla separazione delle particelle che ne derivano (che sono differenti fra loro per il rapporto massa/carica elettrica). Le particelle così ottenute (investendo i vapori della sostanza con un fascio di elettroni ad alta energia cinetica) vengono rivelate da un detector e da un registratore per mezzo dei quali si ottiene lo «spettro di massa» da cui risultano il tipo e la quantità delle particelle presenti. Da ciò si può risalire alla composizione della sostanza in esame. Tale metodo d'indagine viene usato soprattutto per l'analisi qualitativa e quantitativa delle leghe metalliche.

5. La Craquelure

Non appena il dipinto è terminato, indifferentemente dalla tecnica utilizzata, inizia a deteriorarsi, sia per azione degli agenti ambientali sia per una propria intrinseca instabilità. Fenomeni fisici, chimici e biologici alterano in vario modo la materia di cui è composta l'opera, ad esempio causando delle trazioni meccaniche che sono a loro volta responsabili di gran parte dei danni riscontrabili sul supporto, sulla preparazione ed anche sul film pittorico.



Da un attento esame delle crettature (o craquelure) è spesso possibile risalire alle cause che le hanno generate e, conseguentemente, ottenere utili informazioni sulla struttura dell'opera. Le fenditure raggiungono gli strati più profondi o si limitano alla superficie del dipinto, si diramano secondo reticolati variabili, rettilinei o concentrici che, intersecandosi tra loro, formano le caratteristiche isole dalle dimensioni e dalle forme più varie.

Il fenomeno può essere evidenziato con l'uso della macrofotografia, ulteriormente esaltato con la luce radente e studiato in comparazione con gli esami in transilluminazione, infrarosso trasmesso e radiografia ai raggi X.

Elementi costitutivi della craquelure sono: linea di frantumazione, isola, bordo, apertura e profondità del taglio.

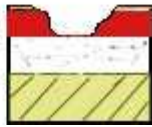
La linea di frantumazione corrisponde al taglio che si forma attraverso gli strati pittorici, la cui forma e dimensione varia a seconda della causa che le hanno generate. L'intersecarsi delle diverse linee di frantumazione genera isole di materia separata di forme e dimensioni variabili. Con bordo si intende il profilo esterno del taglio che può essere netto e tagliente o irregolare e stonato.

La distinzione e lo studio di questi elementi hanno permesso di giungere ad una classificazione dei differenti tipi di craquelure





Craquelure di essiccamento



La craquelure detta di essiccamento interessa soltanto gli strati superficiali di vernice e colore, è dovuta ad anomale contrazioni della materia stessa e si forma, perciò, nelle prime settimane successive all'applicazione della pittura, anche se talvolta può continuare ad estendersi in profondità negli anni.

La linea di frantumazione è in questo caso larga e irregolare, con solchi che raggiungono, eccezionalmente, anche un centimetro o più di larghezza. La profondità è limitata al livello dello strato pittorico che, a seguito di trazioni interne attuate dal processo di essiccamento, è ancora abbastanza morbido tanto da essere soggetto a deformazione plastica. I bordi delle isole hanno, perciò, un'apparenza fluida e grumosa e i larghi cretti lasciano spesso intravedere lo strato sottostante.

La craquelure detta di invecchiamento compare quando il film pittorico e lo strato preparatorio sono oramai completamente essiccati e quindi non più in grado di sostenere lo sforzo esercitato dalle fluttuazioni dimensionali del supporto. La linea di frantumazione è invariabilmente sottile, uniforme, relativamente dritta o appena incurvata, può estendersi per una considerevole lunghezza prima di intersecarsi con un'altra frattura. Le isole che si vengono a formare sono in rapporto con lo spessore degli strati: più questi sono spessi più è largo l'intervallo fra le linee di frantumazione. La natura del supporto influenza ovviamente la forma del cretto in quanto all'origine delle trazioni: troveremo addensamenti di craquelure laddove le tensioni sono più forti come agli angoli e verso i margini nei dipinti su tela e secondo le venature del legno nei dipinti su tavola. I bordi avranno spigoli acuti denotando una frantumazione a essiccamento già avvenuto.



Craquelure di invecchiamento



La craquelure di invecchiamento si origina dal supporto e si apre come sottile crepa, dalla forma a V col vertice verso il basso, attraverso tutti gli strati dalla preparazione alla vernice. In radiografia ai raggi X si evidenzia come linea scura molto diversa dall'immagine formata dal craquelè di essiccamento. Anche in transilluminazione o infrarosso trasmesso sarà evidente la profondità del cretto. Ovviamente l'osservazione potrà essere resa possibile solo nel caso in cui il supporto sia sufficientemente trasparente all'infrarosso alla luce visibile, come nel caso di questa tela. Crettature non presenti in superficie ma rilevate con questi mezzi possono essere dovute a ridipinture di parti dell'opera o all'utilizzazione di un vecchio dipinto come supporto per l'esecuzione di una nuova opera, operazione non rara nel campo della falsificazione.

L'analisi della craquelure come verifica dell'autenticità di un dipinto deve sempre essere molto cauta. E' vero che la craquelure è da sempre considerata come un fattore di autenticità (o meglio di antichità) di un'opera, ma è altrettanto vero che esistono numerosi metodi per procurarla artificialmente. Certo riprodurre una falsa crettatura che penetri anche la preparazione, con isole concave che distaccano i propri bordi dal supporto nella tipica forma a "scodellina", è sicuramente più difficile che ottenere una semplice craquelure di essiccamento facendo slittare uno strato su un altro, ma allo stesso tempo non dovrà essere considerato autentico tutto ciò che provoca immagini radiografiche. Alcuni sistemi usati nella falsificazione delle opere d'arte, come l'arrotolamento della tela con una preparazione fragile dopo aver accelerato l'essiccamento del colore, provocano cretti profondi e dall'aspetto più che verosimile.



I bordi, che appena formati sono ad angolo retto, col tempo tenderanno a consumarsi, anche a causa del loro rilievo. Interessante sarà osservare questo particolare della crettatura al microscopio o con la macrofotografia, ma non è detto che il falsario lo abbia trascurato.

fonti: (testi liberamente tratti da
"Tecniche fotografiche per la documentazione delle opere d'arte" di Manfredi Faldi, Claudio Paolini
"Il Restauro dei dipinti e sculture lignee" di Giuseppina Perugini - del Bianco Editore)
 reperiti sul sito: http://www.webalice.it/inforestauro/diagnostica_pittura.htm