

Adriano Zecchina

Alchimie nell'arte

La chimica e l'evoluzione della pittura

Chiavi di lettura a cura di
Federico Tibone e Lisa Vozza

indice

<i>Introduzione</i>	5
1. Dipinti del Paleolitico e del Neolitico	29
2. La pittura degli Egizi (4000–100 a.C.)	41
3. Il periodo greco-latino (400 a.C.–500 d.C.)	63
4. I colori del Medioevo (500–1450 d.C.)	79
5. Sfumature e chiaroscuri (1450–1750)	97
6. Verso l'Impressionismo e oltre (1750–1900)	131
7. Il Novecento	161
<i>Conclusioni</i>	219
<i>Fonti delle immagini</i>	221
<i>Per saperne di più</i>	222
13 miti da sfatare	224
Forse non sapevi che...	228
<i>Indice dei colori</i>	234
<i>Indice analitico</i>	237

Introduzione

Chimica e pittura, o alchimia e arte, sono parole che raramente si incontrano vicine. Se pensiamo a un quadro probabilmente ci viene in mente un'immagine, una tavolozza di colori, forse il museo o la galleria d'arte in cui il dipinto è esposto. La chimica invece ci fa pensare a un mondo scientifico o tecnologico, quello dell'industria che produce materie plastiche, farmaci e altre sostanze che di solito non associamo certo all'arte.

«L'arte è del tutto diversa dalla scienza» scriveva perentoriamente Ernst Gombrich in *Arte e illusione*. Secondo il grande storico dell'arte, dunque, la creatività artistica e quella scientifica non sarebbero in alcun modo comparabili. Tuttavia la ragione addotta da Gombrich fa sorridere gli scienziati:

È difficile dire che l'arte progredisce nel modo in cui progredisce la scienza, poiché ogni scoperta [artistica] in una direzione crea una nuova difficoltà altrove.

Come ha osservato Philip Ball nel suo saggio *Colore. Una biografia*, questa affermazione prova solamente che Gombrich non aveva dimestichezza con il metodo scientifico: il modo di procedere degli scienziati si basa in realtà proprio sul fatto che ogni

nuova scoperta introduce una contraddizione nelle conoscenze precedenti, e apre così la strada a nuovi filoni di indagine.

In ogni caso l'intreccio fra qualità estetiche e aspetti scientifici della creatività è sempre stato inestricabile, come pure sono inscindibili fin dalle origini l'evoluzione della pittura e lo sviluppo delle conoscenze sui materiali.

La storica dell'arte Anthea Callen ha scritto che «ogni opera d'arte è determinata in primo luogo e soprattutto dai materiali a disposizione dell'artista e dalla sua abilità nel manipolarli». In effetti oggi non potremmo ammirare gli affreschi di Giotto nella Cappella degli Scrovegni di Padova, o i celebri girasoli di van Gogh, se gli artisti non si fossero serviti di particolari sostanze create dalla chimica del loro tempo o frutto di conoscenza dei minerali più rari.

Dunque l'arte e la scienza (sia geomineralogica sia chimica) nelle varie epoche si sono rincorse a vicenda, in un gioco continuo fra la limitatezza delle materie prime disponibili e la spinta a trovare nuove risorse per soddisfare i bisogni della creatività.

In questo libro faremo un viaggio nel tempo seguendo l'evoluzione della pittura, dal Paleolitico all'arte contemporanea, attraverso i colori che i pittori hanno avuto a disposizione nelle diverse epoche.

Vedremo come nel corso della storia umana i pigmenti colorati si siano evoluti e diversificati, arricchendo la tavolozza dei pittori di tonalità sempre più varie e capaci di rappresentare la realtà in tutta la sua abbondanza cromatica.



Figura 1. Il blu della Cappella degli Scrovegni di Giotto (1303–05) e il giallo dei girasoli di van Gogh (1888) sono esempi di colori estratti da minerali e prodotti dalla chimica.

Prima di cominciare il viaggio, è bene chiarire che l'autore non è storico dell'arte né esperto di estetica, ma soltanto un chimico con una certa dimestichezza con la pittura, passione che coltiva nel tempo libero.

Il lettore vorrà quindi perdonare le inesattezze e le approssimazioni che certamente troverà in questo libro, nonché l'abbandono delle classiche suddivisioni temporali che caratterizzano ogni serio libro di storia dell'arte.

Lo scopo qui è mettere in luce l'intreccio tra lo sviluppo delle conoscenze mineralogiche, alchemiche, chimiche e fisiche, da una parte, e l'evoluzione delle opere d'arte pittoriche, dall'altra, evidenziando come i due aspetti si siano grandemente influenzati a vicenda nella storia plurimillenaria dell'espressione artistica umana.

Mi sforzerò invece di limitare le argomentazioni di tipo estetico, per loro natura soggettive, confortato in questo dall'opinione di Mark Rothko, celebre pittore astratto statunitense del Novecento:

Un quadro non ha bisogno che qualcuno lo spieghi. [...] Se vale, parla da sé.

La luce e i pigmenti

Le opere pittoriche hanno la capacità di rievocare intensamente ricordi sepolti e provocare emozioni. Riflettendo sulla potenza evocativa della pittura, il grande Vasilij Kandinskij scrisse in un primo tempo (ne *Lo spirituale nell'arte*):

[A differenza della pittura] la musica è arte che non usa i propri mezzi per imitare i fenomeni naturali, ma per esprimere la vita psichica dell'artista e creare la vita dei suoni.

Tuttavia, dopo aver visitato una mostra degli impressionisti a Monaco, Kandinskij cambiò idea:

Mi divenne perfettamente chiaro, però, che la pittura possiede in generale una potenza assai maggiore di quanto pensassi, ed è capace di esprimere la medesima intensità della musica.

Il potere della pittura è dovuto a molti motivi concorrenti, e questo libro non ha l'ambizione di esplorarli tutti; ci concentreremo invece sui materiali di elezione che consentono al pittore di creare composizioni e figure evocative quanto la musica o la poesia.

Per spiegare come pigmenti, lacche e coloranti aiutino a suscitare emozioni intense, occorre parlare brevemente della luce e della sua manipolazione.

La luce bianca del Sole è costituita in realtà dai colori dell'iride – che variano dal violetto al rosso passando per l'azzurro, il verde e il giallo – e basta un prisma di vetro per scomporla nelle sue componenti di base, come mostra la figura 2.

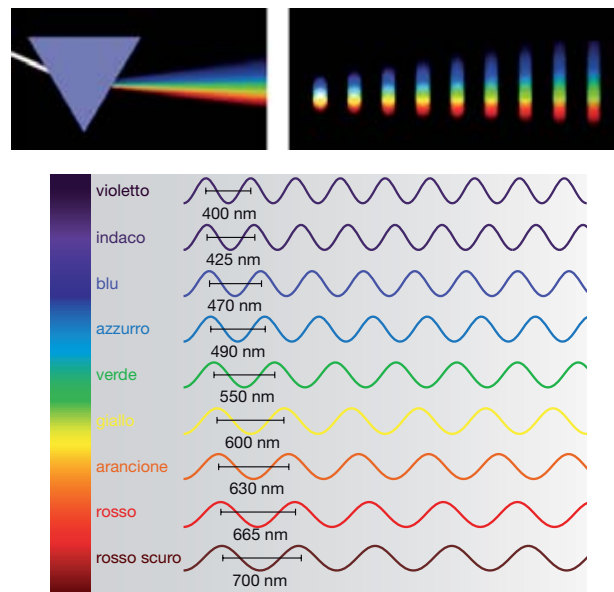


Figura 2. In alto: un prisma di vetro scompone un raggio di luce bianca nei colori dell'iride, e a destra la luce scomposta è proiettata su schermi posti a distanze via via crescenti. In basso: la lunghezza d'onda della luce visibile varia da 400 a 700 nanometri quando si passa dal violetto al rosso.

Il pittore tradizionale è un artigiano che manipola la luce riflessa o diffusa, disponendo sulla sua tela sostanze che assorbono parte dei colori dell'iride.*

Partiamo da una normalissima tela, o carta per acquerello, che si compra in un negozio per pittori o in un colorificio. Perché ci appare bianca? La ragione è che restituisce la stessa luce bianca che l'ha illuminata.

Tuttavia questa definizione non è sufficiente: anche uno specchio infatti restituisce inalterata tutta la luce che riceve, ma l'immagine risultante non è certo la luce uniforme e diffusa che proviene da una tela bianca. La ragione della differenza tra i due casi sta nei fenomeni della riflessione e della diffusione della luce.

Tutti studiamo a scuola le leggi della *riflessione*: su una superficie levigata a specchio ogni raggio di luce incidente è riflesso in una ben determinata direzione (quella che forma con la perpendicolare alla superficie lo stesso angolo del raggio incidente).

Su una superficie «ruvida» si parla invece di *diffusione*: il raggio incidente dà origine a un'infinità di raggi di luce diffusi in tutte le direzioni, come nella figura 3 a sinistra.

La nostra tela bianca è ruvida e quindi diffonde tutta la luce, perché il suo tessuto è ricoperto di pigmento di colore bianco disperso in una sostanza legante trasparente.

* Come vedremo, al pittore classico oggi si affianca sempre di più un nuovo «artigiano della luce» che, invece di usare pigmenti per sottrarre colori alla luce naturale, sfrutta la luce emessa da sorgenti luminose o da sostanze luminescenti.

Un *pigmento* è una sostanza formata da particelle con dimensioni dell'ordine del micrometro (un millesimo di millimetro), che dà colore a un materiale legante dentro cui si disperde senza sciogliersi.

Il legante o *mezzo disperdente* ha importanza fondamentale in pittura, poiché può esaltare l'intensità dei colori e può essere usato per creare sfumature e chiaroscuri.

I principali mezzi disperdenti usati storicamente sono stati la cera, la gomma arabica (per l'acquerello), il tuorlo e l'albume dell'uovo (per la tempera), l'olio di lino e – più recentemente – la resina acrilica. Questi ultimi sono di gran lunga i due leganti oggi più diffusi.

Ogni particella di pigmento, che per semplicità supporremo sferica, quando è illuminata dalla luce

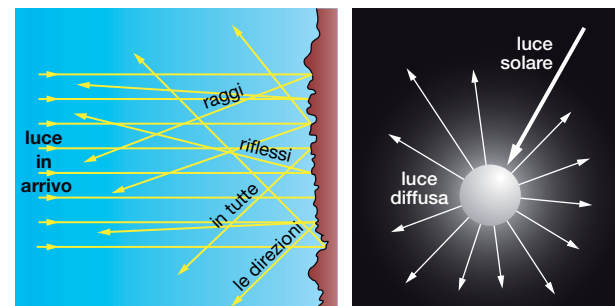


Figura 3. A sinistra: le superfici ruvide riflettono la luce incidente diffondendola in tutte le direzioni. A destra: una particella di pigmento bianco, di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda della luce solare che la illumina, emette raggi di luce in tutte le direzioni (*diffusione di Mie*).

bianca si comporta come un centro di diffusione, restituendo la luce e diffondendola in tutte le direzioni (figura 3 a destra).

Il fenomeno è particolarmente efficiente quando le particelle hanno dimensioni simili alla lunghezza d'onda della luce incidente e quando la differenza tra gli indici di rifrazione del pigmento e del mezzo disperdente è sufficientemente grande: ne risulta allora la sensazione di una superficie che «emette» un colore uniforme e diffuso.**

Il colore dei pigmenti

La luce diffusa da un pigmento ci appare *bianca* (oltre che uniforme e diffusa) quando le particelle del materiale di cui esso è costituito non assorbono alcuna delle componenti della luce solare.

Se invece le particelle assorbono una o più componenti della luce solare, il materiale in cui è disperso il pigmento emette una luce diffusa colorata.

Quando per esempio un pigmento assorbe la parte estrema del rosso della luce solare, la luce diffusa non apparirà bianca ma violetta. Se il pigmento assorbe in un intervallo più ampio, che comprende tutta la gamma dei rossi, allora apparirà di un colore compreso tra l'azzurro e il violetto.

** Se invece la dimensione delle particelle è inferiore alla lunghezza d'onda della luce, o se gli indici di rifrazione dei due mezzi sono molto vicini tra loro, la frazione di luce trasmessa aumenta e il materiale appare *traslucido*.

Viceversa, quando un pigmento assorbe una frazione del violetto esso ci appare rosso scuro, e se assorbe in tutto l'intervallo compreso tra il violetto e l'azzurro, ci apparirà di colore compreso tra il rosso e l'arancio.

Un fascio di luce si dice *monocromatico* quando è formato da luce di una sola lunghezza d'onda; in tal caso il suo colore appare al nostro occhio come dotato di una particolare purezza. Nel complesso, quanto più ristretto è l'intervallo di lunghezze d'onda della luce assorbita da un pigmento, tanto più monocromatica e pura sarà la luce che esso diffonde.

Pigmenti capaci di assorbire varie parti dello spettro della luce sono stati scoperti empiricamente fin dai primordi dell'umanità. Oggi si producono comunemente nuovi pigmenti costruendo strutture cristalline e molecolari progettate *ad hoc*, nell'ambito di quei rami della chimica chiamati scienza dei coloranti e scienza dei materiali (figura 4).



Figura 4. Un piccolo campione della varietà dei pigmenti (soprattutto di origine inorganica) disponibili oggi.

Paradossalmente la proprietà dei pigmenti di assorbire parte della luce è anche all'origine della loro deperibilità: l'energia trasportata dalla luce infatti stimola alla superficie delle particelle di pigmento reazioni chimiche (con l'ossigeno, il vapor d'acqua o la sostanza legante) che nel tempo possono alterarne il colore.

I pigmenti naturali più diffusi

Fin dai primordi l'uomo ha potuto procurarsi facilmente pigmenti di colore rosso e ocre a base di ossidi del ferro, che è tra gli elementi più abbondanti in natura.

Quanto tali ossidi siano diffusi è testimoniato per esempio dal panorama desertico della figura 5a e da quello nostrano della figura 5b (quest'ultimo ambiente, fortemente modificato dall'uomo, si può considerare esso stesso come un'opera d'arte collettiva).

Un altro pigmento usato dai tempi più antichi, è il nero del carbone, disponibile presso ogni focolare. Ciò spiega perché la tavolozza dei primi pittori fosse, come vedremo, sostanzialmente bicolore.

Con il progresso delle conoscenze di carattere minerario e alchemico, altri pigmenti colorati si sono aggiunti nei millenni alla tavolozza del pittore, che è così divenuta gradualmente sempre più complessa e ricca di potenzialità espressive.

Riguardo ai pigmenti c'è un'ultima curiosità da soddisfare: per quale motivo alcuni assorbono la luce in ben precise parti dello spettro comprese tra



Figura 5a. Sabbia ricca di ematite (ossido di ferro, Fe_2O_3) nel deserto subsahariano.



Figura 5b. Ocre gialle (ossidi idrati di ferro) nel tipico paesaggio toscano delle *crete senesi*. Il colore chiaro di alcuni suoli si deve alla presenza contemporanea di minerali bianchi come il caolino, che diluiscono il colore ocre intenso caratteristico degli ossidi puri.

il violetto e il rosso, e quindi ci appaiono colorati, mentre altri non assorbono affatto la luce visibile, e quindi ci appaiono bianchi? Quale meccanismo fisico è coinvolto in questa proprietà straordinaria? E come si possono progettare sostanze capaci di assorbire parti dello spettro visibile a nostro piacimento?

Non è possibile dare una risposta che sia allo stesso tempo semplice ed esauriente. Diremo soltanto che l'assorbimento della luce (e quindi il colore che ne deriva) è un fenomeno *quantistico*, strettamente legato alla struttura atomica o molecolare dei singoli pigmenti.

Emerge così un fatto che può apparire paradossale: i colori che rendono la natura tanto meravigliosa sono in realtà una manifestazione della meccanica dei quanti, una scienza considerata difficile e astrusa, ma che ha effetti così pervasivi e onnipresenti da determinare l'aspetto stesso del mondo che ci circonda.

I pigmenti, i coloranti e le lacche

Quando si prepara una tela per pittori, il mezzo disperdente all'inizio deve essere fluido, per facilitare la dispersione delle particelle di pigmento bianco, ma poi deve diventare rigido e stabile.

Il pittore, quando dipinge un quadro, deve poi applicare quella stessa tecnica per stendere i vari strati colorati sopra il bianco della tela.

Le particelle colorate di pigmento, ciascuna costituita da un gran numero di atomi (decine o centinaia

di migliaia), hanno dimensioni dell'ordine del micrometro e non sono solubili in alcun solvente.

Assai diversi sono i *coloranti*, sostanze generalmente di carattere organico, cioè basate sulle catene di atomi di carbonio caratteristiche degli organismi viventi: le loro molecole sono costituite da poche decine di atomi e sono solubili in vari solventi, compresa l'acqua, e anche nella sostanza legante.

A causa di questa solubilità le molecole permeano in modo omogeneo l'intero mezzo disperdente, che diviene così uno strato colorato trasparente, simile ai vetri delle cattedrali: quando è illuminato non difonde la luce come i pigmenti, perciò non è adatto per la stesura di strati pittorici che devono dare la sensazione di luminosità.

I coloranti si possono tuttavia trasformare in pigmenti facendoli adsorbire^{***} su particelle di pigmenti bianchi (in tempi antichi si usavano gesso e ossa macinate, più recentemente solfato di bario, idrossido e ossido di alluminio) per poi mescolarli nel mezzo disperdente.

Quando il materiale che fa da supporto al colorante è costituito da particelle molto piccole, o con bassa proprietà diffusiva a causa del basso indice di rifrazione, si ottiene una sostanza che mantiene una certa trasparenza e che prende più propriamente il nome di *lacca*.

^{***} L'*adsorbimento* è l'interazione che fa aderire atomi o molecole a un substrato con meccanismi di tipo fisico (forze di attrazione di van der Waals) oppure chimico (legami covalenti).

Le lacche sono in genere basate su pigmenti organici ricavati da composti naturali e conosciuti fin dall'antichità. Con alcune eccezioni che menzioneremo più avanti, le lacche hanno una resistenza limitata, per via della loro degradabilità a opera della luce e di varie sostanze tra cui l'ossigeno. Tuttavia nella storia della pittura sono state molto apprezzate per i toni di colore vivaci e brillanti e anche perché, stendendole in strati sottili, la loro parziale trasparenza consente di ottenere effetti pregevoli come le velature.

Il pittore-alchimista

Le considerazioni fatte sulla diffusione della luce fanno capire quanto siano stati storicamente importanti per l'arte pittorica la macinazione dei pigmenti (per ottenere particelle delle giuste dimensioni), l'uso di mezzi disperdenti appropriati e la scelta delle superfici su cui stendere il colore.

Consideriamo per esempio l'azzurrite, un minerale ampiamente usato nel passato: se la si macina in particelle molto piccole, il suo colore appare azzurro pallido; se invece la macinazione non è particolarmente spinta e le particelle rimangono sufficientemente grandi, l'azzurro appare più intenso e brillante. Questa influenza delle dimensioni delle particelle sull'effetto ottenuto è un fenomeno tipico di quella che oggi chiamiamo *nanotecnologia*.

Anche l'uso di leganti differenti, caratterizzati da indici di rifrazione diversi, ha una discreta influenza



Figura 6a. La bottega di un pittore rinascimentale ritratta dall'incisore fiammingo Philip Galle (*Nova reperta*, c. 1595).



Figura 6b. Jan van der Straet, *Il laboratorio dell'Alchimista*, 1570. Firenze, Palazzo Vecchio.

sulla brillantezza del colore. Tutti questi segreti – inclusa la sintesi del pigmento – facevano parte del patrimonio di conoscenze della tradizionale bottega del pittore.

Ne è testimonianza l'incisione della figura 6a, che rappresenta una bottega di pittura della fine del Cinquecento: oltre agli artisti, sulla destra sono raffigurati alcuni lavoratori che macinano i pigmenti o li mescolano con i mezzi disperdenti.

È chiaro che si tratta di un laboratorio artigiano, ove la conoscenza di segreti e ricette per la formulazione dei colori – insieme all'abilità del pittore – sta alla base della reputazione della bottega.

Altrettanto evidente è la somiglianza di questo ambiente con un laboratorio di alchimista dello stesso periodo storico (figura 6b), dove si manipola la materia, più che attraverso operazioni di carattere fisico, con reazioni chimiche indotte dal calore.

Da dove cominciamo?

Per partire è opportuno fissare un inizio. Si potrebbe pensare di cominciare dalle opere degli Egizi, che ci sono pervenute numerose e spesso molto ben conservate. Oppure da quelle della civiltà che quasi contemporaneamente, e in modo indipendente, si è sviluppata in Cina.

È comunque straordinario rendersi conto che disponiamo di oggetti colorati dall'uomo vecchi più di 5000 anni!

Tuttavia, come Thomas Mann ha scritto nel romanzo *Giuseppe e i suoi fratelli*, stabilire arbitrariamente l'inizio di qualunque cosa è problematico:

Perché appunto [...] quanto più scavi nel passato, quanto più penetri e cerchi, tanto più i primordi dell'umano e della sua storia, della sua civiltà, si rivelano del tutto insondabili pur se si fa discendere a profondità favolose lo scandaglio.

Lo scandaglio dello scienziato della natura si deve fermare quando non trova più testimonianze fisiche; perciò c'è da chiedersi fino a quale tempo remoto si debba risalire per trovare le più antiche testimonianze di attività pittorica da parte dell'uomo. Si scopre allora che l'arte degli Egizi è stata in realtà il risultato di una lunga evoluzione fatta di innovazioni e scoperte precedenti.

In effetti gli abitanti della valle del Nilo sono i discendenti di popolazioni della savana (oggi deserto del Sahara) che i mutamenti climatici avevano spinto nell'arco di millenni verso il grande fiume, allora paludoso e malsano. L'inizio dell'arte pittorica va dunque anticipato di alcune migliaia di anni, nel pieno del periodo chiamato Neolitico.

Potremmo allora decidere di fissare la prima tappa del nostro viaggio nelle caverne di Gilf Kebir: circa 8000 anni prima della nascita di Cristo alcuni abitanti di questa zona del Sahara – oggi al confine tra Egitto, Libia e Sudan – ci hanno lasciato meravigliose opere pittoriche che sono di una modernità sorprendente (figura 7).



Figura 7. Animali addomesticati dipinti intorno all'8000 a.C. sulle pareti delle grotte di Gilf Kebir, nel Sahara egiziano vicino al confine con Libia e Sudan.

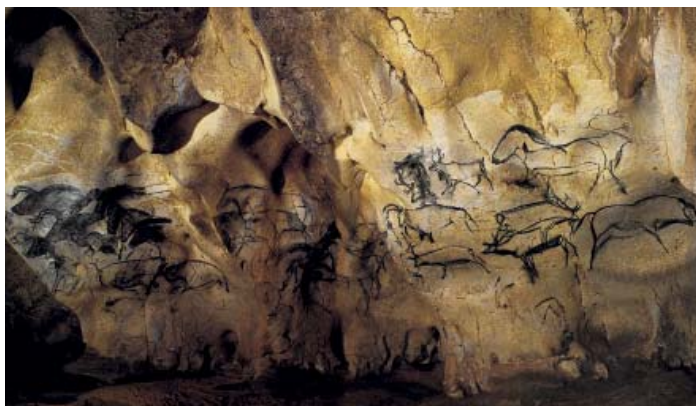


Figura 8. Una parete della grotta francese di Chauvet (circa 37 000 a.C.), protagonista del documentario 3D *The cave of forgotten dreams*, realizzato nel 2011 da Werner Herzog.

Ma un esame ancora più attento delle testimonianze lasciate dall'uomo preistorico dimostra che anche questa scelta è discutibile, e che per trovare un vero inizio dobbiamo spingerci molto più indietro nel tempo, risalendo verso nord.

Forse il giusto punto di partenza sta nelle grotte del Paleolitico, con i dipinti francesi di Lascaux, realizzati 15 000 anni prima di Cristo, o addirittura con le caverne di Chauvet, esempi stupefacenti di un'arte modernissima, sebbene risalga a quasi 40 000 anni fa (figura 8).

Anche se testimonianze pittoriche anteriori non sono state trovate, è difficile credere che le grandi opere conservate in queste «cattedrali paleolitiche» siano sorte all'improvviso dal nulla. Più probabilmente gli esseri umani usavano già da tempo la pittura per dipingere il corpo a scopo rituale e ornamentale.

Non abbiamo testimonianze dirette di queste attività, ma nella grotta di Blombos, in Sudafrica, sono state trovate due grosse conchiglie usate 100 000 anni fa per conservare una vernice liquida fatta a base di pigmenti di ematite e ocre. E nelle caverne Twin Rivers, in Zambia, si sono ritrovati monili, pigmenti e strumenti per la decorazione del corpo, una prova indiretta che ci permette di allungare lo sguardo addirittura fino a 300 000 anni fa.

Con la fantasia potremmo galoppare a lungo nel deserto dei reperti, ma ligi al rigore scientifico qui ci fermiamo, fissando il nastro di partenza là dove si arrestano le effettive testimonianze dell'attività pittorica umana.

Tecnologia e popolazione: uno sviluppo esplosivo

Prima di dare inizio al nostro racconto, partendo proprio dal Paleolitico, occorre sottolineare un dato che riassume l'enormità dei cambiamenti intervenuti nella società umana nei periodi di cui ci occuperemo: l'aumento della popolazione.

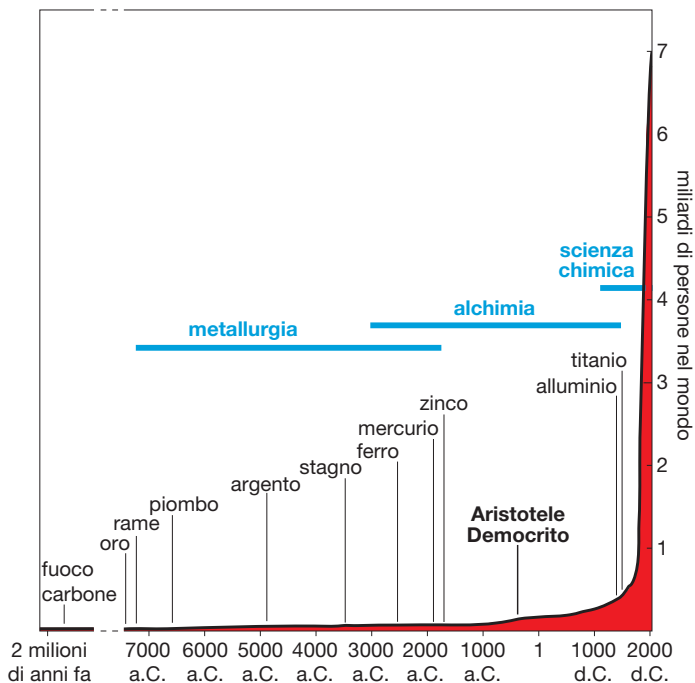


Figura 9. L'evoluzione della popolazione umana dall'Età della pietra ai giorni nostri, con le principali tappe nello sviluppo della metallurgia, dell'alchimia e della scienza. Aristotele e Democrito segnano l'inizio della filosofia naturale.

Da un lato, la figura 9 mostra quanto sia cambiato nelle diverse epoche il numero dei potenziali pittori e dei potenziali fruitori delle opere d'arte.

D'altro canto essa evidenzia la recente esplosione della popolazione umana: negli ultimi due secoli la nostra specie è divenuta un'unica grande tribù planetaria, con un aumento senza precedenti sia nel numero di fruitori dell'arte, sia nella diffusione degli stili e dei mezzi pittorici.

Le pratiche metallurgiche sono durate molti millenni e si sono sovrapposte a quelle alchemiche, che a loro volta sono durate almeno per altri tre millenni. La chimica è poi emersa come scienza soltanto nella seconda metà dell'Ottocento.

Le prime importanti riflessioni di filosofia naturale riguardanti la materia e la sua composizione si sono sviluppate attorno al IV-V secolo prima di Cristo, con Aristotele e Democrito.

La grande distanza temporale tra le formulazioni dovute a questi filosofi e la nascita del metodo scientifico moderno, avvenuta duemila anni più tardi, fa capire come si sia trattato di un processo lungo e travagliato.

Con l'inizio dell'Ottocento, accanto allo sviluppo delle scienze, inizia a manifestarsi l'esplosione della popolazione umana, che subirà poi una grande accelerazione nei due secoli successivi. Il boom demografico è dovuto alle conquiste della scienza e della tecnologia e alla grande disponibilità di energia, che insieme hanno prodotto condizioni di vita sempre più favorevoli per grandi masse di persone.

Le «Età chimiche» della metallurgia

La figura 9 aiuta anche a capire perché la metallurgia – resa possibile dalla precedente scoperta del fuoco e del carbone – sia iniziata con una Età del rame e sia poi proseguita con l'Età del piombo, l'Età dello stagno (che in lega con il rame dà il bronzo) per arrivare in seguito all'Età del ferro, dello zinco e molto più tardi del titanio.

Questa particolare successione l'«Età» metallurgiche riflette la sequenza in cui l'uomo ha imparato a estrarre ciascun metallo dai minerali, e ha ragioni di carattere squisitamente chimico.

Per effetto dell'*arrostimento* in aria (un riscaldamento che non arriva al punto di fusione) i minerali infatti formano legami chimici con l'ossigeno e si trasformano in ossidi degli elementi. Le pratiche metallurgiche sfruttano reazioni chimiche in cui, a temperatura elevata, il carbone strappa l'ossigeno all'ossido, con liberazione del metallo. Più forte è il legame tra il metallo e l'ossigeno, più alta è la temperatura richiesta dal processo metallurgico.

Ciò spiega perché il rame – metallo quasi nobile, che forma cioè un legame debole con l'ossigeno – sia stato ottenuto per primo e sia stato poi seguito dal piombo, dallo stagno, dal ferro e così via: la successione delle «Età» è stata dettata dalla «nobiltà chimica» dei metalli.

L'oro – il metallo nobile per eccellenza – è prezioso anche perché, esposto all'aria, rimane brillante e non si ossida. Per lo stesso motivo, non legandosi

con l'ossigeno, si trova nelle rocce allo stato nativo, cioè in forma di metallo puro. Ecco perché è stato ottenuto per primo, senza bisogno di pratiche metallurgiche.

Passando all'estremo opposto, si capisce come mai la metallurgia dell'alluminio e del titanio – metalli che formano con l'ossigeno un legame molto forte – sia diventata di uso comune soltanto nel ventesimo secolo.

Il succedersi delle varie Età, da quella del rame a quella del bronzo, poi del ferro e così via, è dunque strettamente dettato dalle proprietà chimiche dei vari metalli e, in ultima analisi, dalla tavola periodica degli elementi.

Un'evoluzione parallela, nel caso dei colori, si è avuta per i pigmenti bianchi: il carbonato basico di piombo (biacca) è stato usato per primo sin dall'epoca degli Egizi, per poi essere rimpiazzato in epoche più recenti dall'ossido di zinco (ZnO, bianco zinco) e infine nel Novecento dallo stabilissimo biossido di titanio (bianco titanio, TiO₂), che è il colore bianco più usato dai pittori moderni. Come vedremo, un'evoluzione simile si è verificata anche per molti altri pigmenti usati in pittura.