

# HOMO FABER: COME I METALLI HANNO SEGNATO E SEGNANO ANCHE OGGI LA CIVILTÀ DELL'UOMO

RINALDO PSARO (\*)

SUNTO. – Il succedersi delle varie età, da quelle del rame a quella del bronzo, poi il ferro e così via, è dettato dalle proprietà chimiche dei vari metalli e, in ultima analisi, dalla tavola periodica degli elementi. La capacità espressa dall' homo faber di estrarre e lavorare i diversi metalli, hanno segnato evoluzioni tecnologiche così radicali da essere scelte dagli storici per designare vere e proprie civiltà. L'oro è stato il primo metallo utilizzato dall'uomo, pur non potendo essere adoperato né come utensile né come arma. Più di ogni altro elemento antico, l'oro è sempre stato associato a un fascino senza tempo. Nessuno degli elementi chimici scoperti dalla scienza moderna è stato in grado di superare la sua supremazia. Fin dai tempi della sua scoperta, l'oro è stato usato a scopo ornamentale e solo con lo sviluppo tecnologico è stato impiegato anche a scopo tecnico e scientifico. Per il titanio si è invece verificato il percorso inverso, dal suo impiego essenzialmente tecnologico si è poi passati a quello estetico. A partire dagli anni Sessanta, quando il titanio è divenuto disponibile anche per impieghi non militari, le sue applicazioni non hanno fatto altro che crescere e diversificarsi. La sua fama in architettura è legata indiscutibilmente al Museo Guggenheim di Bilbao realizzato dall'architetto Frank Gehry nel 1997, mentre nelle titanocromie di Pedeferra abbiamo il connubio tra arte e tecnologia.

\*\*\*

ABSTRACT. – The succession of various ages, from those of copper to that of bronze, then iron and so on, is dictated by the chemical properties of the various metals and, ultimately, by the periodic table of the elements. The capacity expressed by the homo faber to extract and work the different metals, have marked technological developments so radical as to be chosen by historians to designate real civilizations. Gold was the first metal used by man, although it could not be used either as a tool or as a weapon. More than any other ancient element, gold has always been associated with a timeless charm. None of the chemical elements discovered by modern science has been

---

(\*) CNR Istituto di Scienze e Tecnologie Chimiche "Giulio Natta", Milano, Italia.  
E-mail: rinaldo.psaro@istm.cnr.it

able to overcome its supremacy. Since the time of its discovery, gold has been used for ornamental purposes and only with technological development has it been used also for technical and scientific purposes. For titanium, however, the reverse path was verified, from its essentially technological use it then moved on to the artistic one. Starting in the 1960s, when titanium became available even for non-military uses, its applications have done nothing but grow and diversify. His artistic fame is unquestionably linked to the Guggenheim Museum in Bilbao designed by the architect Frank Gehry in 1997, while in Pedeferra's titanochromies we have the combination of art and technology.

L'UNESCO ha proclamato il 2019 Anno Internazionale della Tavola Periodica degli Elementi Chimici per celebrare i 150 anni dalla sua prima pubblicazione, avvenuta il 6 marzo 1869 ad opera di Dmitrij Ivanovič Mendeleev, un capolavoro della scienza in continua evoluzione, icona e bandiera della chimica.

Nel 2019 ricorre anche il centenario della nascita di Primo Levi, chimico e scrittore che con la sua vita e i suoi scritti è riuscito a comunicare l'essenza della chimica e a descrivere l'anima del chimico.

La storia della tavola periodica, come quasi sempre nella scienza, non parte dall'intuito di un genio solitario, ma è una narrazione di incontri, congressi, scambi di opinioni e rivalità accademiche. Un chimico geniale quanto estroso, Dmitrij Ivanovič Mendeleev, preferì seguire, come criterio ordinatore, il peso atomico crescente. Il meccanismo concettuale, comunque, era il seguente: nel mettere in fila o in colonna gli elementi in ordine di peso atomico, si andava a capo o si cominciava una colonna nuova, quando le proprietà presentavano ripetizioni in confronto a elementi precedenti.

La sua fantasia spigliatissima, unita a una bella dose di disinvoltura, lo spinse a sostenere che quei buchi aspettavano elementi ancora ignoti, dei quali si lanciò a prevedere le proprietà proprio in base alla posizione che avrebbero dovuto occupare. Inoltre, per far tornare le analogie, si permise d'invertire qua e là l'ordine rigido che sarebbe stato dettato dai pesi atomici, sostenendo che dovevano essere sbagliati. Quando poi le scoperte di nuovi elementi andarono man mano a riempire le caselle vuote con le proprietà da lui predette, il suo credito scientifico salì alle stelle.

Primo Levi pubblicò nel 1975 *Il sistema periodico* [1]. Il libro è una originalissima riflessione articolata in 21 capitoli, ciascuno dei quali viene a essere ispirato da un diverso elemento della tavola di Mendeleev. Un insieme di racconti che ci restituisce la chimica e la tavola periodica come un riferimento per le esperienze di vita vissuta.

Nel 1999 fu chiesto al celebre scrittore Oliver Sacks, che era neurologo e non chimico, di indicare una fra le idee più geniali partorite dall'umanità nel millennio che stava finendo, ed egli pensò allora alla tavola periodica degli elementi, summa d'innumerabili conoscenze condensate e organizzate in uno spazio ristrettissimo.

Nel 2015, un mese prima della sua morte, pubblicò sul New York Times un bell'articolo dal titolo "My Periodic Table", e a proposito del festeggiare i compleanni Sacks scrisse che ogni 9 luglio, la sua data di nascita, gli amici erano soliti regalargli l'elemento della tavola periodica corrispondente agli anni passati su questa terra.

*"E adesso, in questo frangente, quando la morte non è più un concetto astratto ma una presenza – una fin troppo vicina presenza che non può essere negata – mi sto circondando nuovamente, come ho fatto quando ero ragazzo, di metalli e minerali, piccoli emblemi d'eternità. Ad un'estremità della mia scrivania ho l'elemento 81 in una scatolina, inviata dai amici degli elementi in Inghilterra: dice, 'Buon compleanno di Tallio', un ricordo del mio 81° compleanno lo scorso luglio; poi, un regno devoto al piombo, l'elemento 82, per il mio 82° compleanno appena festeggiato all'inizio del mese. Proprio qui, in un piccolo scrigno di piombo, è contenuto l'elemento 90, torio, torio cristallino, bello come diamanti, e, naturalmente, radioattivo – da qui il cofanetto di piombo."*[2]

La tavola che periodica che è stata variamente integrata e modificata ma sostanzialmente fedele all'impianto originario, benché ordinata secondo i numeri atomici e non i pesi atomici, è ancora una mappa insostituibile per orientare studenti, professionisti e ricercatori nello studio sistematico delle proprietà chimiche degli elementi. Un po' per tutti, anche per gli scrittori, è divenuta qualcosa di più di una sintesi rappresentativa dei costituenti il mondo materiale, una porta magica che introduce alle meraviglie della natura.

Oliver Sacks nel suo libro *Zio Tungsteno-Ricordi di un'infanzia chimica* [3], racconta la sua passione per la chimica e soprattutto per i metalli. C'è un passo del libro che riguarda il racconto delle sue visite al Science Museum di Londra, meta quotidiana di visitatori da tutto il mondo. A quei tempi, tra un piano e l'altro del museo c'era una monumentale riproduzione in legno della tavola periodica di Mendeleev che al posto delle caselle aveva dei comparti in cui erano collocati campioni dei diversi elementi chimici. Dopo la descrizione che ne aveva ascoltato a scuola, il giovane Sacks rimase letteralmente affascinato da quella rappresentazione e tornò più volte ad ammirarla, riassumendo così l'in-

fluenza che ebbe su di lui: “vedere la tavola [periodica], ‘capirla’, mi cambiò la vita”.

Se la reazione di Sacks fu così emotivamente forte, anche l’attenzione di chiunque entra per la prima volta in un’aula di chimica, sia esso studente o visitatore occasionale, è subito attirata dalla tavola periodica che fa bella mostra di sé alle spalle della cattedra.

Nel 2006, durante una visita scientifica presso l’Istituto di Catalisi Boreskov della Accademia delle Scienze Russa a Novosibirsk, tenni una conferenza nell’aula magna dove era esposta una grande tavola periodica in cirillico, mentre ai lati capeggiavano su grandi pannelli le effigi di Mendeleev e Boreskov, una scenografia davvero unica, e mentre parlavo quasi mi sentivo osservato da questi mostri sacri della chimica e della catalisi (Georgii Konstantinovich Boreskov è considerato uno dei padri fondatori della catalisi eterogenea).

## I METALLI E LA PERIODIZZAZIONE DELLA STORIA

I metalli sono gli elementi chimici più numerosi, la cui scoperta ha avuto grande importanza nella storia dell’uomo, tanto che nella Preistoria al periodo del Paleolitico, del Mesolitico e del Neolitico seguì un terzo periodo detto Età dei metalli. L’introduzione dei metalli ha costituito un fondamentale elemento di distinzione tra i diversi momenti dello sviluppo umano, non solo da un punto di vista esclusivamente tecnologico, ma anche socio-culturale. Per cercare i metalli gli uomini dovevano affrontare lunghi e pericolosi viaggi verso terre nuove, dando così impulso ai rapporti fra culture diverse. Gli stessi metallurghi si dovevano spostare frequentemente, sia per offrire le loro capacità e i loro manufatti sia per cercare nuovi giacimenti minerali. Osservava acutamente Lucrezio, nel I secolo a.C., come le diverse proprietà meccaniche dei materiali via via utilizzati dall’uomo, dalla pietra al bronzo e infine al ferro, avessero significativamente influenzato l’evoluzione delle attività belliche e agricole.

Tuttavia, senza la scoperta del fuoco o meglio ancora senza il suo controllo da parte dell’Homo Erectus, non ci sarebbe stata l’evoluzione della nostra civiltà. Questo punto cruciale della storia dell’umanità ha sempre attirato attenzione e curiosità da parte degli studiosi, interessati a dare una risposta ad un quesito tuttora aperto: quando l’uomo imparò come governare il fuoco?

Le analisi condotte nel 2012 su una serie di tracce scoperte in un sito della grotta sudafricana di Wonderwerk indica che già un milione di anni fa i nostri antenati usavano il fuoco in modo controllato.

È stata madre natura a introdurre l'uomo nella straordinaria avventura della metallurgia, come narra Lucrezio: *“Poi scoprirono il rame, l'oro e il ferro, il peso dell'argento e il potere del piombo, quando gli incendi avevano arso grandi foreste su grandi montagne, o per un fulmine sceso dal cielo o perché gli uomini, facendosi guerra nei boschi, gettavano il fuoco per spaventare i nemici, o perché, sedotti dalla bontà del terreno, volevano aprire ricchi terreni o ridurre i campi a pascoli, o uccidere fiere e arricchirsi delle loro prede...”* (nel V libro del *De Rerum Natura* (vv. 1241-1343).

Sin dal 7000 a.C. alcune comunità cominciano a lavorare il rame trasformandolo in utensili per primitive lavorazioni agricole, utensili simili per prestazioni a quelli in pietra, ma più durevoli. Inizia così il periodo intermedio tra l'Età della pietra già trascorsa e l'Età del bronzo ancora da venire, chiamato Calcolitico, combinazione di due termini greci: *chalkòs* “rame” e *lithos* “pietra”.

Nel Calcolitico l'uomo mette a punto anche primitive tecniche di fusione dei metalli, probabilmente quasi per caso: forse un attrezzo di rame puro cade in un campo che brucia, il rame si fonde, ma una volta raffreddato ha perso la sua forma originale per solidificare in forma diversa. È però molto più probabile che il primo metallo sia stato prodotto dall'uomo, sempre accidentalmente, in fornaci adibite alla cottura dei vasi di terracotta decorati: per esempio un vasaio potrebbe aver deciso di decorare il manufatto con una polvere blu, l'azzurrite, che non è altro che carbonato di rame idrato, aver poi caricato il forno con un eccesso di legna facendo alzare la temperatura a più di 1000°C e creando così una atmosfera riducente. Si sarebbero venute a creare le condizioni di una prima disidratazione, e la successiva decomposizione del carbonato con la formazione di rame metallico alla base del vaso.

La scoperta dell'azione del fuoco rende possibili due passi fondamentali: modellare il metallo versandolo liquido in forme già predisposte, e fondere minerali esistenti in natura per estrarne metallo puro in grandi quantità e non più dipendenti dalla casualità dei ritrovamenti di metallo nativo.

Perché la metallurgia antica è iniziata con una Età del rame, poi proseguita con l'Età del piombo e dello stagno per arrivare in seguito

all'Età del ferro e dello zinco, mentre bisogna attendere molti secoli per l'alluminio e il titanio?

Questa successione rispecchia la sequenza in cui l'uomo ha acquisito la capacità estrarre il metallo dai propri minerali, e ciò è dovuto a ragioni di carattere squisitamente chimico.

Il processo pirometallurgico comporta l'arrostimento dei minerali che formano legami chimici con l'ossigeno e si trasformano in ossidi degli elementi; successivamente a temperature più elevate si sfruttano reazioni chimiche in cui il carbone, agendo da riducente, strappa l'ossigeno all'ossido, con la formazione del metallo. Nel processo pirometallurgico più è forte il legame tra il metallo e l'ossigeno, più alta sarà la temperatura richiesta.

Ecco perché il rame, che forma un legame debole con l'ossigeno, è stato estratto per primo ed è stato seguito dal piombo, dallo stagno, dal ferro e così via, mentre nel caso di metalli come l'alluminio e il titanio, che formano con l'ossigeno un legame molto forte, vennero isolati rispettivamente nel 1825 e nel 1887.

Questa periodizzazione della storia dovuta alla successione delle età metallurgiche, da quella del rame al bronzo, poi del ferro, che riflette appunto la sequenza in cui l'uomo ha imparato a estrarre i metalli, è strettamente governata dalle proprietà chimiche dei vari metalli e, in altre parole, dalla tavola periodica degli elementi chimici.

Da un punto di vista storico l'età dei metalli si suddivide in tre periodi, ciascuno dei quali prende il nome dal metallo che l'uomo iniziò a usare in quell'epoca nelle seguente successione: età del rame, del bronzo e del ferro.

## ORO

L'oro è l'elemento chimico di numero atomico 79. Il suo simbolo è Au (dal latino *aurum*). È un metallo di transizione tenero, pesante, duttile, malleabile di colore giallo, dovuto all'assorbimento delle lunghezze d'onda del blu dalla luce incidente. È il metallo nobile per eccellenza perché esposto all'aria rimane brillante e non si ossida. Per questo motivo si trova allo stato nativo, cioè in forma di metallo puro, come pepite, grani e pagliuzze nelle rocce e nei depositi alluvionali. Ecco perché è stato ottenuto per primo dall'Homo Faber, senza l'utilizzo di processi metallurgici.

L'uomo iniziò a estrarre l'oro circa 6.000 anni fa, nelle regioni in cui sorsero le prime civiltà nell'Africa settentrionale, in Mesopotamia, nella valle dell'Indo e nel Mediterraneo orientale. L'origine dell'oro è misteriosa e le sue tracce, conservate nei racconti mitologici, sono quanto mai oscure. Mi riferisco ad esempio alla famosa leggenda del Vello d'oro, quella pelle di montone che, una volta immersa nelle rapide acque dei torrenti montani, era in grado di svolgere una funzione di filtro e quindi di trattenere piccolissime particelle d'oro. Come descrive Erodoto, i Greci del V secolo a.C. erano estranei a questa materia preziosa, solamente dopo le vittorie sui Persiani a Maratona (490 a.C.) e a Salamina (480 a.C.) il mondo orientale si apre al fascino senza tempo dell'oro. Con la conquista dell'impero persiano, Alessandro Magno riuscì a sequestrarne circa 10.000 tonnellate di oro e argento. Dopo la fine del suo impero l'enorme tesoro si dissolse nei mille rivoli del cosiddetto "mondo civilizzato" di allora.

Mircea Eliade sostiene che *"... l'oro non appartiene alla mitologia dell'Homo Faber ma è una creazione dell'Homo Religiosus; questo metallo cominciò infatti ad assumere valore per motivi di natura essenzialmente simbolica e religiosa. L'oro è stato il primo metallo utilizzato dall'uomo, pur non potendo essere adoperato né come utensile né come arma. Nella storia delle rivoluzioni tecnologiche – cioè nel passaggio dalla tecnologia litica alla produzione del bronzo, poi all'industria del ferro e infine a quella dell'acciaio – l'oro non ha svolto alcun ruolo... E tuttavia, dai tempi preistorici fino alla nostra epoca, gli uomini hanno faticosamente perseguito la ricerca disperata dell'oro. Il valore simbolico primordiale di questo metallo non ha potuto essere abolito malgrado la desacralizzazione progressiva della Natura e dell'esistenza umana."*[3]

A sostegno di questa tesi, di tutto il lavoro di migliaia di orafi egizi, mesopotamici, minoici, greci e di altre civiltà, ci sono arrivate solo pochissime cose, proprio perché per secoli si era ritenuto che il valore del metallo insito negli oggetti decorativi, sia religiosi che laici, fosse di molto superiore a quello artistico. Di qui le continue fusioni e rifusioni di questo metallo lavorato, spesso al semplice scopo di coniare monete circolanti.

La Maschera di Agamennone (*Fig. 1*), in lamina d'oro, è stata ritrovata nel 1876 dall'archeologo tedesco Heinrich Schliemann in una tomba reale all'interno delle mura di Micene. È stata così chiamata perché Schliemann pensò di aver trovato effettivamente la maschera funeraria di Agamennone, l'eroe di Omero. Gli studiosi hanno però accertato che si tratta di un re vissuto molto tempo prima.



Fig. 1. Maschera di Agamennone, tecnica a sbalzo su lamina d'oro, h. 31,5 cm, 1600-1500 a.C. circa, Museo archeologico nazionale, Atene.

È il bassorilievo di un volto maschile con barba e baffi, sopracciglia marcate, naso lungo e stretto, bocca larga dalle labbra sottili, occhi chiusi, orecchie regolari. La barba è rappresentata in modo dettagliato, i baffi sono lunghi e arricciati all'insù. La maschera funeraria era posta sul volto del re morto, probabilmente per rendere incorruttibile la sua immagine. Anche altre civiltà parallele, come quella egizia e fenicia, usavano porre sui volti dei loro morti più importanti una maschera, che li accompagnasse nell'aldilà. L'opera dimostra l'abilità dei Micenei nella lavorazione della lamina d'oro con la tecnica dello sbalzo, che venne mirabilmente utilizzata anche per tazze, calici, ornamenti per abiti e corazze.

Una maschera funeraria ben più famosa è quella di Tutankhamon (Fig. 2), scoperta dall'inglese Howard Carter il 28 ottobre 1925 in Egitto, nella valle dei Re a otto metri di profondità. Quest'opera rappresenta in modo realistico il volto del giovane faraone, è realizzata con molti strati di oro battuto decorato di lapislazzuli, quarzo, turchese, cornalina, ossidiana e vetri colorati. Nell'ammirarla si coglie la ricchezza del patrimonio espressivo e decorativo degli artisti egizi e la straordinaria abilità tecnica nella lavorazione dell'oro e degli altri materiali preziosi, nonché la vastità delle loro conoscenze scientifiche.



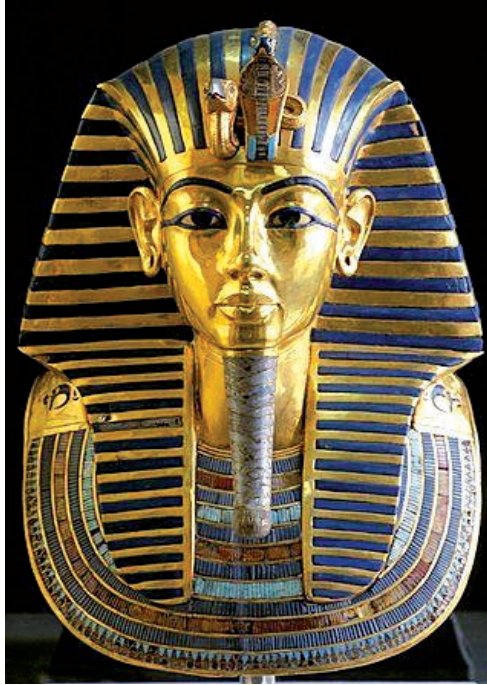


Fig. 2. Maschera di Tutankhamon, oro, lapislazzuli, cornalina, ossidiana, quarzo, turchese e paste vitree, h. 54 cm, l. 39,3 cm, 1333-1323 a.C., Museo Egizio del Cairo.

Secondo Erodoto le prime monete di *electrum*, con funzioni legate al commercio al minuto e con titolo, peso e valore stabiliti dallo Stato, apparvero tra il VII e il VI secolo a.C. sotto il regno di Creso nella Lidia, antica regione dell'Asia Minore, oggi nella zona occidentale della Turchia. L'*electrum*, dal greco *elektron* – che in greco antico indica l'ambra – è stato chiamato così dal colore di una lega naturale di argento e oro di origine alluvionale. Un'ingegnosa innovazione in Lidia fu l'uso di una pietra locale, di colore nero, per saggiare la purezza delle pepite d'oro ricevute in pagamento nelle transazioni commerciali. Questa pietra divenne famosa come "pietra di paragone", perché gli orafi strofinavano su di essa gli oggetti d'oro e poi confrontavano il segno rimasto con quelli prodotti da 24 aghi contenenti oro e argento e rame in diverse proporzioni. Il ventiquattresimo ago era d'oro puro, e infatti 24 carati sono ancor oggi la misura dell'oro finissimo.

Nella *Fig. 3* si vede una coppia di orecchini d'oro a grappolo a opera di orafi etruschi, che provengono dalla necropoli di Spina, che fu un importante polo commerciale alla foce del Po. Infatti, svolse un ruolo dominante nell'Adriatico, fondata dagli Etruschi intorno al 540 a.C., rappresentò la porta verso il Mediterraneo di tutta l'area etrusco-padana.



*Fig. 3. Coppia di orecchini in oro, manifattura etrusca, fine del V secolo a.C., Sala degli Ori, Museo Archeologico Nazionale di Ferrara.*

Gli orecchini in lamina d'oro sono decorati a granulazione. Nell'oreficeria, la granulazione è una tecnica decorativa consistente nella saldatura di piccole sfere auree, denominate grani, a un sottofondo, in genere lamina, secondo un disegno prestabilito. Si tratta di una delle più complesse e affascinanti tecniche dell'arte orafa, e al tempo stesso anche una delle più discusse. Cosa ha spinto gli orafi mesopotamici del III millennio a.C. a utilizzare per primi microsferi d'oro per decorare dei monili? Come è nato questo gusto estetico e perché ha avuto così fortuna nelle corti antiche di molte civiltà lontane tra loro nello spazio e nel tempo? La tecnica consiste nel creare delle piccole sfere d'oro di un diametro che varia da 0,1 a 0,8 millimetri, che vengono prodotte insieme e successivamente vengono separate per misure. Grazie allo sviluppo degli studi archeometallurgici su manufatti antichi è stato possibile ricostruire la tecnica di saldatura usata dagli orafi antichi, che prevedeva l'impiego di sali rame e colle organiche, cioè la saldatura colloidale [5]. I grani restano collegati fra loro e con la base di uno strato assai esile, a volte di appena 0,6 mm, una saldatura non visibile all'occhio umano.

Questo travaso di conoscenze è stato reso possibile quando, tra l'ultimo quarto dell'VIII secolo a.C. e il primo del VII, arrivarono in Etruria gli artigiani orientali, e in particolare gli orafi. La conquista e la colonizzazione romana dell'Etruria, insieme ai molti cambiamenti storici e socio-

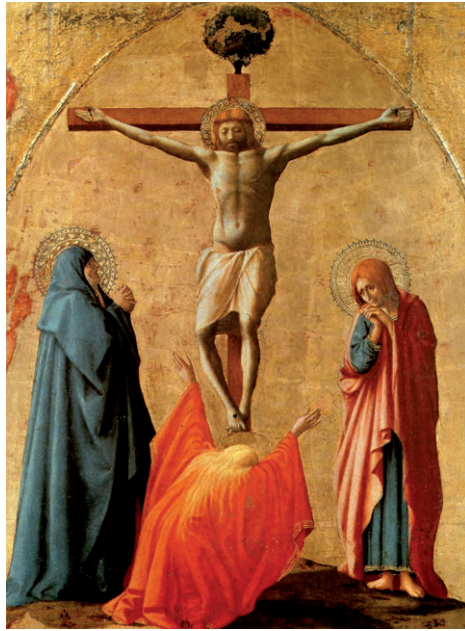
culturali che implicò, portarono gradualmente alla perdita di quella raffinatezza estetica e culturale che aveva caratterizzato l'espressione artistica degli Etruschi proprio nella creazione dei gioielli. L'applicazione della granulazione diventò più grossolana, fino quasi a scomparire nel Medioevo, lasciando nei secoli che seguirono un vuoto crescente nelle capacità non più solo estetiche e artistiche, ma anche tecniche, venendo a mancare una conoscenza puntuale dei procedimenti necessari per realizzare tali decorazioni. Da allora la granulazione è rimasta un'affascinante e misteriosa tecnica orafa, come per Benvenuto Cellini nel Rinascimento, per i famosi orafi Castellani nell'Ottocento e altri che hanno tentato di eguagliare lo splendore di quei capolavori di un mondo artistico e produttivo, che rimane incomparabile.

L'oro è speciale anche per la sua grande densità, la sua malleabilità e duttilità, cioè la docilità con la quale si lascia ridurre in fili sottilissimi: da un solo grammo si può ottenere un filo lungo oltre 3.500 metri. Non meno spettacolare è la sua malleabilità: tecnicamente è possibile battere un'oncia d'oro al punto da ottenerne un foglio della superficie di 16 mq. Una lamina può avere uno spessore impalpabile, fino a 0,1 micron (milionesimo di metri).

Facciamo ora un salto avanti del tempo e andiamo alla pittura del Duecento e del Trecento dove spicca il fondo oro. Tecnica che cade poi quasi in disuso nel Quattrocento, ma viene utilizzata da Masaccio, un grande innovatore nell'uso dei pigmenti, che accosta il rosso e il blu all'oro come possiamo ammirare nella sua *Crocifissione* del 1426 (Fig. 4). Il manto blu della Madonna è dipinto con lapislazzuli, quello della Maddalena è di vermiglione, lo sfondo è in lamina d'oro.

La preziosità e la lucentezza dell'oro, almeno per quanto riguarda la pittura su tavola, prevedeva che sullo strato iniziale di bolo rosso (bolo armeno, è un'argilla nella cui composizione rientra ossido di ferro, da qui la tipica colorazione di colore rosso) che esaltava la calda rifrazione dell'oro, venissero applicate le foglie metalliche ridotte allo spessore di un velo, in modo da formare una superficie di ricca purezza astratta, luminosissima, il cui effetto si amplificava nella penombra delle chiese illuminate solo dalle candele. Tuttavia, la foglia d'oro mordenzata si adattava a tutte le irregolarità della superficie sottostante, facendole diffondere la luce, quindi il risultato appariva di un giallo opaco piuttosto piatto. Solo se la superficie veniva lisciata (cioè brunita), strofinandola con un oggetto duro, riacquistava lo splendore riflettente del metallo; a questo scopo era spesso usata una pietra (solitamente agata) arrotondata oppure un dente:

una volta che la foglia d'oro è asciugata rapidamente, dice Eraclio, “che la si renda molto brillante con un dente d'orso selvaggio”. Brunire significa letteralmente rendere bruno, poiché in tal modo si scurisce l'oro nelle parti in ombra, mentre si rendono più brillanti quelle in luce: “... allora l'oro viene quasi bruno per la sua chiarezza”, spiega Cennini. Sembra probabile che molti dei fondi d'oro delle pitture medievali su tavola fossero strofinati sino a ottenere una levigatezza brillante a specchio, prima che vi fossero aggiunti sopra gli altri elementi della scena. Oggi in genere tali fondi non sembrano più bruniti, a causa delle incrinature del supporto, oppure di altre irregolarità o impurità raccolte nel corso del tempo.



*Fig. 4. Masaccio. Crocifissione, 1426 tempera su tavola a fondo d'oro, Napoli, Museo Nazionale di Capodimonte.*

Gli artigiani del Medioevo fabbricavano la foglia d'oro martellando delle monete, riducendole così in lamine sottilissime. Gli artigiani specializzati in questo lavoro, i “battiloro”, fino al XX secolo misuravano il peso della foglia d'oro sulla base del ducato, moneta d'oro dell'Italia medievale: lo spessore era determinato dal numero di foglie (ognuna di circa 8,5 cmq) ricavate da un unico ducato.

Facciamo adesso un altro salto temporale fino al 2015, quando è stata inaugurata la sede di Milano della Fondazione Prada, progettata dallo studio di architettura OMA, guidato da Rem Koolhaas, caratterizzata da un'articolata configurazione architettonica che combina edifici preesistenti e tre nuove costruzioni (Podium, Cinema e Torre), ed è il risultato della trasformazione di una distilleria risalente agli anni dieci del Novecento. Per la doratura della torre chiamata Haunted House (Fig. 5) sono stati utilizzati 200.000 fogli di oro zecchino prodotti da Giusto Manetti Battiloro.



*Fig. 5. Fondazione Prada sede di Milano, particolare della doratura della torre Haunted House, foto R. Psaro.*

Più di ogni altro elemento antico, l'oro è stato associato a un fascino senza tempo, nessuno degli elementi scoperti dalla scienza moderna è stato in grado di sfidare la sua supremazia. Nel maggio 2013 è stata organizzata a Londra la mostra "Gold: Status and Glory" che abbina i fondi oro di alcune preziose pale italiane del XIV e XV secolo a creazioni dell'artista contemporaneo Giovanni Corvaja, tracciando un filo conduttore dorato tra passato e presente. L'artista utilizza l'antica lavorazione orafa tradizionale ma ha anche sviluppato tecniche innovative che gli permettono di trasformare l'oro in fili di uno spessore inferiore ai 10 micron. Intrecciando per ore questo delicatissimo metallo ha

saputo creare ad esempio un tessuto composto da 110 chilometri di filo dorato quasi trasparente, o creare quella che sembra una pelliccia che ha chiamato il Vello d'oro richiamandosi all'antica leggenda.

## RAME

Il rame è l'elemento chimico di numero atomico 29. Il suo simbolo è Cu (dal latino *cuprum*).

La parola italiana "rame" deriva dal latino tardo *aeramen* che a sua volta deriva dal latino classico *aes*. In molte lingue europee, invece, la parola che indica il rame deriva dal latino *cuprum* (per esempio in inglese *copper*, in francese *cuivre*, in spagnolo *cobre* e in tedesco *kupfer*). La parola *cuprum*, però, in origine non aveva nulla a che fare col rame, ma deriva da *Cyprium aes*, cioè metallo di Cipro. In epoca greco-romana le miniere di Cipro erano famose per la qualità e la quantità di rame che vi si estraeva e l'isola diventò il maggior produttore di rame dell'epoca, così *cuprum* passò a significare rame [6]. La più evidente caratteristica di questo metallo è il colore, il rame infatti è l'unico metallo rosso e ciò lo pone in una particolare relazione con l'oro, l'unico altro metallo colorato.

È un metallo duttile, malleabile, e dopo l'argento è il migliore conduttore di elettricità e di calore. Si può trovare in natura allo stato di rame nativo, oppure sotto forma di sali come il solfuro rameoso o calcosite ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), solfuro di ferro e rame o calcopirite ( $\text{CuFeS}_2$ ), e nei minerali quali la cuprite, la malachite o l'azzurrite (per le immagini di rame nativo e malachite vedi il contributo in questo volume di P. Cerea).

La lavorazione del rame affonda le sue radici nella preistoria: il più antico oggetto di rame a noi noto è un piccolo pendaglio ottenuto con il minerale non lavorato, scoperto nella grotta di Shanidar in Kurdistan e risalente a ben 12.000 anni fa. Risalgono a 10.000 anni fa i primi utensili prodotti col rame lavorato, dei punteruoli scoperti in Anatolia e Mesopotamia. In Italia abbiamo le prime tracce del suo utilizzo solo alcuni millenni più tardi, a partire da 6.000 anni fa.

L'evoluzione delle tecniche di lavorazione del rame durò diversi millenni. La più antica consisteva nel martellamento a freddo del rame puro proveniente da filoni o pepite. Mille anni dopo fu inventata la tecnica del martellamento a caldo, poi gli abili artigiani orientali riuscirono

finalmente a raggiungere con i loro forni la temperatura necessaria alla fusione del rame, cioè  $1.083^{\circ}\text{C}$ , e questo permise loro di ottenere sia fili e lamine da ribattere sia direttamente oggetti di ogni forma.

L'Homo Faber iniziò a rapportarsi chimicamente con i metalli quando scoprì che il rame poteva anche essere ottenuto dai minerali. Il periodo storico in cui i manufatti artigianali in rame, oro e argento affiancano quelli in osso, pietra e argilla viene definito Età del rame o Calcolitico: è stata una vera e propria rivoluzione tecnologica e sociale. A parte l'osso, per produrre utensili erano noti solo due materiali inorganici: la pietra, resistente ma dura da lavorare, e l'argilla, che al contrario era facile da lavorare ma non era adatta a tutti gli usi, perché gli oggetti con essa prodotti erano troppo fragili. Il rame invece riuniva in sé i pregi di entrambi i materiali già noti, eliminandone i difetti: una volta fuso si poteva infatti plasmare in mille forme come l'argilla, ma quando si raffreddava diventava più resistente della pietra.

La scoperta della mummia Ötzi, avvenuta nel 1991 sulle Alpi Venoste ai piedi del monte Similaun, ha suscitato grande interesse per l'incredibile stato di preservazione di un corpo di oltre 5.000 anni. Tuttavia, la scoperta più affascinante è l'equipaggiamento da viaggio che Ötzi aveva con sé al momento dell'uccisione. Tra questi oggetti, l'ascia di rame ha monopolizzato l'attenzione degli esperti (*Fig. 6*): con manico in legno di tasso e perfettamente conservata, è un esemplare più unico che raro, lunga 60 centimetri e ottenuta sfruttando la naturale curvatura del legno, è inoltre un esempio perfetto della tecnologia del tempo. La testa dell'ascia è munita di una forcina per ospitare e assicurare saldamente la lama di rame al manico. La saldatura al manico fu realizzata utilizzando inizialmente un collante ottenuto dal catrame di betulla, e successivamente rafforzata con strisce di pelle. La lama trapezoidale, lunga 9,5 centimetri, è composta al 99,7% da rame puro ed è stata ottenuta colando il rame fuso in uno stampo e lavorandolo a freddo per modellarlo e affilarlo. Questo manufatto ha contribuito a riscrivere la storia dell'Età del rame in Italia settentrionale. Il rame della lama non viene dalle Alpi, sebbene esistessero giacimenti locali di rame già sfruttati. Ad avere individuato la vera area di estrazione del rame è stato il gruppo di Gilberto Artioli, professore di Geoscienze dell'Università di Padova. I risultati dell'indagine, grazie alla firma inconfondibile del rapporto fra gli isotopi del piombo contenuto nel rame, dimostrano che quel metallo derivava da minerali della Toscana meridionale, e grazie all'Associazione Archeologica Piombinese è stato anche anche determi-

nato che nella Toscana dei tempi di Ötzi era già attiva la produzione di rame nell'area di Campiglia Marittima.



Fig. 6. Ascia di rame di Ötzi, 3300 a.C., Museo archeologico dell'Alto Adige, Bolzano.

Ma cosa ci dice questa scoperta? Secondo l'archeologa dell'Università di Trento Annaluisa Pedrotti ciò prova che le tecniche di fusione del rame non sono arrivate in Italia da nord-est, come si pensava, ma esistevano nella Penisola già secoli prima di Ötzi, giunte forse via mare da sud-est, la stessa direzione da cui, del resto, erano arrivati millenni prima allevamento e agricoltura. Inoltre è una conferma di quanto fosse complessa ed estesa l'area degli scambi nel nostro paese nell'Età del rame. La disponibilità di rame e di altri metalli favorì il fiorire di grandi civiltà: per esempio la civiltà etrusca in Italia centrale e quella nuragica in Sardegna devono il loro rapido sviluppo e la loro ricchezza allo sfruttamento delle miniere di rame e di altri metalli. Con la produzione e il commercio del rame questi popoli entrarono in contatto con altre civiltà più ricche come quella greca o quella fenicia, i cui mercanti venivano a scambiare il metallo con i loro raffinati prodotti. Grazie a questi contatti le popolazioni italiche si arricchirono sia materialmente che culturalmente.

Rame, argento e oro appartengono al gruppo 11 della tavola periodica degli elementi, storicamente denominati metalli da conio, cioè che sono stati usati in leghe per coniare monete.

Le prime monete dell'antica Grecia erano fatte di rame e oro: la scelta dei due metalli nobili era dovuta al fatto che potevano essere rinvenuti allo stato nativo e che erano resistenti alla corrosione.

Gli antichi Romani sotto Servio Tullio (VI sec. a.C.) coniarono solo monete di rame, che chiamarono *pecunia*. Successivamente Augusto introdusse un sistema monetario basato su monete d'oro (gli aurei) d'argento (i danari), di ottone (i sesterzi) e di rame (gli assi).



Al giorno d'oggi il rame continua a essere scelto per la monetazione. La monete dell'euro hanno come base il metallo rosso. Il rame e le sue leghe sono adatte per fare monete, grazie alla loro coniabilità, e hanno una straordinaria resistenza all'abrasione e all'urto, qualità indispensabili per prodotti continuamente soggetti a essere maneggiati. La resistenza alla corrosione è ben nota: è la ragione per cui molti oggetti dell'antichità (tra cui le monete) sono giunti quasi inalterati fino ad oggi, anche se esposti agli agenti atmosferici o immersi in acqua.

Un'altra proprietà da tenere in considerazione nella scelta del rame sono i benefici per la salute. Passando di mano in mano, una moneta potrebbe diventare veicolo di malattie, causate da germi nocivi, ma il rame e le sue leghe sono antibatteriche, cioè combattono la proliferazione dei microrganismi sulla loro superficie.

Poiché era abbondante e malleabile, nel passato il rame si prestava meglio dell'oro e dell'argento a essere utilizzato per la produzione di monete, ma ciò creava un diffuso malcontento tra le popolazioni per la disparità fra il valore nominale e quello reale. Il motivo che portò alla svalutazione del conio fu proprio la grande quantità di rame disponibile, che permise di produrre molte più monete e quindi creare più denaro.

In epoca Tudor, il primo grande sforzo per svilire la monetazione fu istituito dal cardinale Wolsey nel 1526. Negli ultimi anni del regno di Enrico VIII la monetazione fu più volte degradata e la pratica continuò nel regno di Edoardo VI, finché nel 1551 valeva da un quarto a un sesto rispetto a prima che Enrico VIII iniziasse la svalutazione per pagare le guerre contro la Scozia e la Francia. Alla fine lo strato di argento era diventato così sottile che si sarebbe logorato rivelando il rame sottostante: ciò accadde in particolare al naso di Enrico VIII sulla sua immagine sulla moneta, valendogli il soprannome di "Old Coppernose".

Quando penso a una colossale opera moderna in rame subito mi appare l'immagine della Statua della Libertà di New York (*Fig. 7*). La statua è un dono della Francia agli Stati Uniti, inaugurata nel 1886 e da allora visibile a decine di chilometri di distanza grazie ai suoi 93 metri di altezza, basamento in granito compreso. A progettarla fu Frédéric Auguste Bartholdi insieme a Gustave Eiffel, che si occupò degli interni. La statua possiede una struttura interna in acciaio, mentre l'esterno è rivestito con 300 fogli di rame sagomati e rivettati insieme. La superficie è formata da ben 30 tonnellate di rame. Nei suoi primi decenni di vita all'aria aperta si avviarono lente trasformazioni cromatiche: il rame iniziava a diventare marroncino, quindi lentamente blu-verde, fino ad

assumere quel colorito a cui oggi siamo abituati. Il processo chimico di ossidazione del rame esposto all'aria è alla base di queste trasformazioni sulla superficie, la colorazione attuale è avvenuta nei primi 30 anni di esposizione nel porto sul fiume Hudson, al centro della baia di Manhattan. A questo si aggiunge l'effetto dell'inquinamento dell'aria, e il cloro che dal mare si diffonde intorno nella zona di Ellis Island.



Fig. 7. Statua della Libertà ieri e oggi, New York.

Il rame possiede uno straordinario numero di proprietà, identificate e sfruttate in differenti periodi della sua storia, che hanno fatto sì che questo elemento non perdesse mai la posizione di rilievo acquisita oltre 6.000 anni fa, quando gli uomini impararono a lavorarlo. La trasformazione del mondo moderno è avvenuta anche grazie alla duttilità del rame, che può essere ridotto in cavi, fili che sono in grado di condurre l'elettricità, proprietà che ha permesso di costruire la rete elettrica mondiale.

## STAGNO

Lo stagno è l'elemento chimico di numero atomico 50. Il suo simbolo è Sn dal latino *stannum*, termine che fu usato da Plinio il Vecchio in riferimento a una lega tra argento e piombo piuttosto che allo stagno in sé, noto all'epoca come piombo bianco, perché ritenuto una varietà di questo metallo. Questa confusione è durata a lungo nel tempo, la nota favola di Hans Cristian Andersen *Il coraggioso soldatino di piombo* in realtà si riferiva a un coraggioso soldatino di stagno come si evince da titolo in danese *Den standhaftige tinsoldat*.

Ci sono parecchi minerali che contengono stagno, ma quello più ricco e sfruttato sin dall'antichità è la cassiterite come descritto nel contributo di P. Cerea in questo volume.

Primo Levi definisce lo stagno un metallo “amico” e cita, tra le qualità che lo rendono amichevole, il fatto che “si allega con il rame per dare il bronzo, materia rispettabile per eccellenza, notoriamente perenne e well established” [7].

L'Età del bronzo è il periodo storico caratterizzato dalla scoperta e diffusione di questo metallo, che è una lega di rame e stagno, molto più resistente del rame che essendo troppo fragile non si prestava a forgiare armi e utensili. Come il bronzo sia stato scoperto è ancora un mistero, è comunque dimostrato che i popoli dell'Egitto, della Mesopotamia e della Valle dell'Indo lo utilizzarono dal 3.000 a.C., mentre in Europa occidentale fu utilizzato più tardi, dal 2.000 a.C. circa. In ogni caso è il frutto dell'evoluzione della metallurgia che doveva rispondere alla necessità di sostituire il rame, probabilmente l'aggiunta della cassiterite ai minerali di rame durante l'estrazione di questo metallo è stata casuale e tale fusione diede il bronzo. In realtà ciò testimonia le straordinarie abilità tecniche dei metallurghi orientali nella lavorazione dei metalli, documentando la vastità delle loro conoscenze scientifiche e tecniche.

Nel corso della storia il bronzo è stato anche utilizzato per creare opere d'arte. Nel III secolo a.C. la più famosa è il Colosso di Rodi, la statua di bronzo che rappresentava Apollo nudo, con le braccia protese, alta 31 metri e larga 7, il cui peso era di 600 tonnellate. Venne poi totalmente distrutta dal terremoto del 224 a.C. Un'altra imponente statua in bronzo è il Grande Buddha di Kamakura costruito in Giappone nel 1250 d.C., alta 13,5 metri e del peso di 93 tonnellate. Un'altra opera di incommensurabile bellezza è la la Porta del Paradiso del Battistero di San Giovanni a Firenze: creata tra il 1402 e il 1424 da Lorenzo Ghiberti, orefice e scultore, è in bronzo, realizzata mediante la tecnica della fusione a cera persa indiretta e rivestita in oro utilizzando la metodologia della doratura ad amalgama di mercurio (pesa 8 tonnellate, è alta 5,20 metri, larga 3,10 metri, spessa 11 centimetri). Il Ghiberti scelse di dorare la porta con la tecnica ad amalgama di mercurio, preferendola al metodo della foglia d'oro, per la capacità di depositare spessori maggiori e di conseguenza più duraturi nel tempo. Questa lavorazione si basa sulla capacità dell'oro di amalgamarsi con il mercurio liquido, formando particelle di  $Au_2Hg$  disperse in una sorta di pasta che può essere poi depositata sulla superficie da rivestire con appositi pennelli. Una volta completata questa fase si può rimuovere il mercurio scaldando a circa 250-300°C il substrato, così da provocarne la volatilizzazione. A

questo punto è necessario un ulteriore passaggio per impartire la colorazione e la lucentezza tipiche dell'oro, dato che al termine dell'evaporazione il colore assunto dalla superficie è un giallo piuttosto scuro; perciò l'oggetto va sottoposto a brunitura.

Sempre dal capitolo sullo stagno nel Libro di P. Levi si legge: *“Perché fonde basso, quasi come i composti organici, cioè quasi come noi; ed infine, per due sue proprietà uniche, dai nomi pittoreschi e poco credibili, mai viste né udite (che io sappia) da occhio od orecchio umano, tuttavia fedelmente tramandate, di generazione in generazione da tutti i testi scolastici, la ‘peste’ e il ‘pianto’ dello stagno”* [7].

È opportuno sapere che per alcuni elementi chimici esistono diverse forme, dette “allotropiche” (dal greco *allos*, altro, e *tropos*, volgo, trasferisco), come ad esempio l'ossigeno (simbolo O), elemento gassoso di cui esiste la forma molecolare biatomica O<sub>2</sub> e quella triatomica O<sub>3</sub>, detta ozono. In altre parole, l'allotropia è la proprietà di un elemento di esistere in diverse modificazioni e ciò comporta diverse proprietà fisiche e chimiche per le due forme. Per lo stagno esistono due allotropi: la forma “beta”, detta “stagno bianco”, in cui gli atomi sono legati fortemente, e la forma “alfa”, detta “stagno grigio”. Normalmente quello usato in commercio si trova nella forma β, che è quella stabile a temperatura ordinaria, mentre la forma α è stabile termodinamicamente a temperature inferiori a 13,2°C. La transizione β→α avviene con notevole aumento di volume (~25%), per cui produce una granulazione e disgregazione del metallo, e questo fenomeno è noto con il nome di “peste dello stagno”, in quanto lo stagno si sgretola in profondità come se avesse contratto una malattia molto grave. Questo passaggio dalla forma β alla forma α, se il raffreddamento è rapido, libera molta energia che crea addirittura delle onde sonore ascoltabili, dette volgarmente “grida dello stagno”, che sono simili al crepitio delle casse di un impianto stereo.

La peste dello stagno venne osservata in Russia durante il freddissimo inverno del 1850, quando la temperatura scese al minimo storico per settimane. In questo periodo i bottoni di stagno si sgretolavano, ma l'effetto più evidente fu sulle canne d'organo nelle chiese che si coprono di chiazze squamose che si sbriciolavano quando venivano toccate.

È stato persino ipotizzato che la disastrosa ritirata della Grande Armata napoleonica nel 1812 da Mosca sia stata causata anche dalla disintegrazione dei bottoni delle uniformi dei soldati. Si tratta in realtà di una leggenda, perché i bottoni dei soldati erano di osso, solo quelli degli ufficiali erano metallici, fatti in ottone.

Ritornando alle età chimiche della metallurgia, dopo l'Età del bronzo si passa a quella del ferro, metallo che sostituisce il bronzo nella produzione di utensili e armi. Per gli aspetti relativi alla metallurgia del ferro si rimanda al contributo di P. Cerea in questo volume.

Un effetto collaterale dell'Età del ferro è stata la comparsa delle spade di ferro, armi che hanno dominato le guerre per oltre 2000 anni.

Una analoga evoluzione delle età metallurgiche si osserva nel caso dei colori e, in particolare, per i pigmenti bianchi. La biacca (carbonato basico di piombo) è stato probabilmente il primo bianco della storia, usata sin dal tempo degli Egizi, e solo dopo millenni viene sostituita dall'ossido di zinco e infine nel Novecento dallo stabilissimo biossido di titanio [8].

Per questa singolare evoluzione parallela, l'ultimo metallo trattato sarà il titanio.

## TITANIO

Il titanio è l'elemento chimico di numero atomico 22. Il suo simbolo è Ti dal greco *titán*, Titano, nome generico che indica i sei giganti mitologici. Questo metallo, rispetto ad altri in uso fin dall'età preistorica, è stato scoperto relativamente di recente. Nel 1789 il chimico francese Louis Nicolas Vaquelin nell'analizzare un particolare minerale, il rutilo, vi trova un elemento sconosciuto. Analogamente accadde nel 1791 al reverendo inglese William Gregor mentre studiava le sabbie del distretto minerario della sua parrocchia, in Cornovaglia, che oggi si sa essere ricche di ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ), minerale più diffuso del titanio. Nel 1795 un chimico tedesco, Heinrich Klaproth, in altre sabbie provenienti dall'Ungheria isolò anch'egli una sostanza fino ad allora ignota, oggi conosciuta come rutilo ( $\text{TiO}_2$ ). Egli dimostrò che l'ilmenite di Gregor e il rutilo da lui scoperto erano minerali di uno stesso metallo che chiamò titanio. Solo nel 1825 il titanio, peraltro impuro, viene isolato da Berzelius. L'isolamento del metallo puro al 95% avviene nel 1887 da parte di Lars Nilson e Otto Peterson e infine al 99.9% (percentuale definita commercialmente pura, per definizione) nel 1910 da Matthew Hunter, che con la collaborazione della General Electric ne produsse una quantità sufficientemente consistente e pura per avviare gli studi sulle proprietà di questo nuovo metallo. Il processo consisteva nella riduzione di tetracloruro di titanio con sodio. Successivamente William

J. Kroll mise a punto un processo in cui si sostituì il sodio con il magnesio e nel 1937, a San Pietroburgo (allora Leningrado), furono prodotte le prime due tonnellate di titanio. Il vero e proprio sviluppo industriale del titanio metallico lo si deve all'industria militare statunitense agli inizi del 1940 e successivamente, in piena guerra fredda, ai russi a partire dagli inizi degli anni cinquanta. Il titanio così, per diversi decenni, fu considerato un metallo strategico per la produzione di armamenti e, di fatto, escluso da una sua diffusione civile di rilievo.

L'esempio più significativo è rappresentato dall'aereo da ricognizione Lockheed SR-71, meglio conosciuto e passato alla storia come "Blackbird", utilizzato dal 1966 fino al 1989, costituito per il 93% del proprio peso in lega di titanio, che ha infranto alcuni record come la maggior velocità mai raggiunta da un aereo con pilota, 3.530 km/h, e l'altezza massima di quasi 26.000 metri.

Una volta caduto il vincolo di materiale strategico il titanio ha poi trovato applicazione in molti ambiti tra cui il biomedicale, l'architettonico, nelle infrastrutture e nelle attrezzature per il tempo libero (racchette da tennis, mazze da golf, telai per biciclette). Anche il settore automobilistico, e in particolare quello delle auto da competizione, è stato ed è tuttora protagonista dello sviluppo di leghe di titanio per diversi componenti.

La fortuna del titanio è dovuta alle sue straordinarie caratteristiche fisiche, meccaniche e di resistenza alla corrosione, e alla facilità con cui lo si lavora e lo si mette in opera. Infatti, ha una resistenza alla corrosione fuori dal comune: la sottile pellicola di ossido che lo protegge si forma spontaneamente sulla sua superficie ed è stabilissima in quasi tutti gli ambienti. Per questo non viene attaccato nella grande maggioranza degli ambienti ossidanti sia acidi che basici, compresi quelli clorurati e, per quanto riguarda la corrosione atmosferica, sopporta perfettamente qualsiasi tipo di inquinamento: dalle emissioni urbane a quelle industriali, anche in ambiente marino e tropicale. Inoltre, non è tossico e generalmente biologicamente compatibile con tessuti umani e ossa, per questi ragioni è il metallo più comunemente utilizzati in medicina e chirurgia.

Soprattutto per la sua resistenza agli agenti atmosferici anche quando è impiegato in spessori molto sottili, si è inoltre aperta la via alle applicazioni in architettura. Le prime applicazioni da parte dei giapponesi risalgono agli anni settanta, come pure le più importanti realizzazioni fino alla metà degli anni novanta, tra le quali ricordiamo

le coperture del palazzo della Tokyo Electric Power (1984) e del Fukuoka Dome, lo stadio di baseball più grande del Giappone (1994). Il lancio più spettacolare del titanio in architettura avviene però nel 1997 con l'inaugurazione del Guggenheim Museum di Bilbao, sicuramente l'opera architettonica moderna tra le più famose (Fig. 8). L'architetto Frank O. Gehry per i quasi 40.000 mq del museo ha impiegato 33.000 pannelli di 0,38 mm di spessore pari a un peso complessivo di 60 tonnellate. Per queste applicazioni la laminazione del titanio è molto critica, perché a seconda di come viene effettuata può portare a superfici opache o, al contrario, a finiture capaci di dare riflessi colorati con tonalità che cambiano al variare dell'illuminazione, così, ad esempio, da apparire gialle al mattino, oppure grigie se non c'è il sole, bianche verso mezzogiorno, rosa al tramonto, blu di notte o con lampi cangianti e multicolori se illuminate con luce artificiale. Tutto ciò è facilmente osservabile visitando il museo nelle diverse ore del giorno e in diverse condizioni atmosferiche.

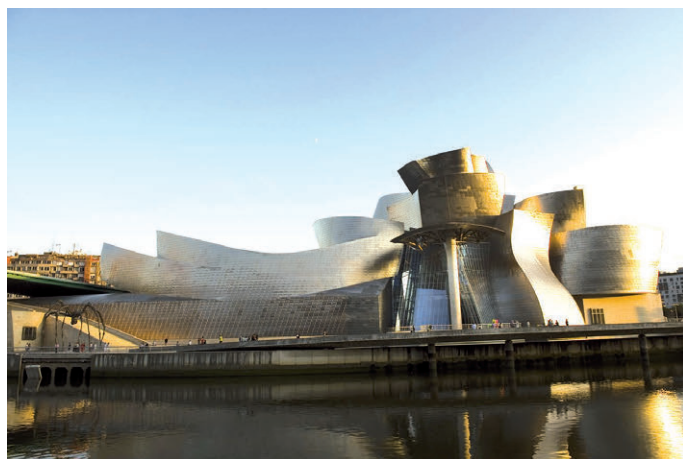


Fig. 8. Museo Guggenheim Bilbao.

Un'altra importante opera architettonica realizzata nel 2008 è il Grande Teatro Nazionale di Pechino. L'edificio è una cupola ellissoidale in titanio interrotta in direzione nord-sud da un rivestimento in vetro che si allarga gradualmente dall'alto verso il basso, costruita con oltre 18.000 lamine di titanio e oltre 1.000 di vetro ad alta trasmissione luminosa.

Fin dai tempi della sua scoperta, l'oro è stato usato a scopo ornamentale e solo con lo sviluppo tecnologico è stato impiegato anche a scopo tecnico e scientifico. Per il titanio si è invece verificato il percorso inverso, dal suo impiego essenzialmente tecnologico si è poi passati a quello estetico.

Per il titanio l'anello di congiunzione tra il settore tecnologico e il settore artistico è costituito dalle ricerche sulla sua colorazione, ricerche condotte e sviluppate negli anni settanta da Pietro Pedeferrì (1938-2008), professore di Corrosione e Protezione dei Materiali al Politecnico di Milano, nonché dal 2003 membro dell'Istituto Lombardo. Sempre negli anni settanta l'incontro di Pedeferrì con l'orafo James Rivière portò alla nascita dei primi gioielli in titanio, che tuttavia suscitavano scarsa curiosità tra i designer e gli orafi. Bisogna attendere parecchi anni per un rilancio di questo metallo, quando grazie a un progetto finanziato dalla Regione Lombardia allo scopo di creare una filiera per la produzione di gioielli al titanio, alla Triennale di Milano, dall'8 giugno al 1 agosto 2010 fu possibile visitare l'esposizione *Titani Preziosi: tra tecnologia, e ornamento*.

Vediamo brevemente in cosa consiste la tinaniocromia sviluppata da Pedeferrì [9]. Solo due metalli sono di per sé colorati: l'oro ed il rame. Tutti gli altri si presentano con tonalità più o meno chiare, ma tutte comprese tra il grigio e il bianco. Tuttavia spesso le loro superfici appaiono colorate poiché sono ricoperte da ossidi o da patine di prodotti di corrosione sottilissime e trasparenti, in grado di riflettere e rifrangere la luce e quindi di produrre il fenomeno noto con il nome di interferenza. È quello che succede al titanio ossidato, e Pedeferrì ha ideato una tecnica di colorazione (ossidazione per via elettrochimica) che consente di far assumere alla superficie del titanio una straordinaria gamma di colori che dipendono dallo spessore del film di ossido (*Fig. 9*). Pedeferrì utilizza questa tecnica anche con finalità artistiche e decorative, in un'intensa e originale ricerca artistica che gli varrà, fra l'altro, l'apprezzamento di Bruno Munari, e, a Parigi nel 1989, il premio "Science pour l'art", assieme al matematico Maldenbrot, lo scienziato noto come l'inventore dei frattali. Munari era sempre stato attratto dalla preziosità dei colori del titanio e dall'eleganza delle forme e dei colori che si possono produrre sulla sua superficie, e aveva osservato che si può leggere negli anelli colorati di una lastrina di titanio come si legge negli anelli di un vecchio tronco d'albero sezionato (*Fig. 10*).



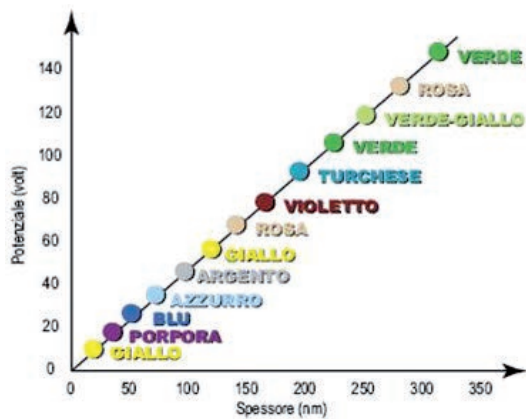


Fig. 9. Potenziali, spessori e colori della pellicola d'ossido di su titanio.



Fig. 10. Titanocromia prodotta da Pietro Pedeferra.  
(tratta da pag. 18 del riferimento bibliografico n. 9).

## CONCLUSIONI

Homo Faber, è un'espressione coniata da Leon Battista Alberti, che stava a indicare l'essenza dell'uomo dell'età umanistico-rinascimentale, quell'essere naturale per cui la conoscenza della natura non è distrazione imperdonabile o peccato, ma un elemento indispensabile di vita e di successo.

In questa trattazione ho inteso mostrare storicamente come l'Homo Faber si è affacciato al mondo degli elementi chimici e in particolare ai metalli e come conoscenze e creatività nel corso dei secoli hanno portato all'evoluzione dell'umanità. Le pratiche metallurgiche sono durate molti millenni e si sono sovrapposte a quelle alchemiche, la chimica è poi emersa come scienza soltanto nella seconda metà dell'ottocento.

La storia della Tavola Periodica degli Elementi dimostra l'importanza dell'immaginazione e della creatività del singolo scienziato per giungere a una nuova scoperta. Primo Levi la definisce *"una poesia, più alta e più solenne di tutte le poesie digerite in liceo: a pensarci bene aveva perfino le rime!"*.

Sam Kean [10] ritiene che la tavola periodica è una meraviglia antropologica, la storia della nostra specie scritta in forma concisa ed elegante: *"...se un giorno gli alieni dovessero davvero atterrare, mi piacerebbe che rimanessero impressionati dalla nostra ingegnosità...forse la cara vecchia griglia di righe colonne e torrette li conquisterà con la sua meravigliosa e pura semplicità. E forse, nonostante i tanti modi alternativi di sistemare gli elementi a loro noti, nonostante la loro esperienza con superatomi e punti quantici, ci vedranno qualcosa di nuovo. Mentre spieghiamo loro come leggere le varie caselle, faranno un fischio (o chissà cos'altro) di ammirazione e rimarranno attoniti nel vedere tutta la conoscenza che noi umani siamo riusciti a riassumere in una semplice tavola periodica degli elementi"*.

## BIBLIOGRAFIA

1. Primo Levi, *Il sistema periodico*, Einaudi, Torino, 1975.
2. Oliver Sacks, *Gratitudine*, Adelphi, Milano, 2016, pag. 31.
3. Oliver Sacks, *Zio Tungsteno. Ricordi di un'infanzia chimica*, Adelphi Edizioni, Milano, 2002.
4. Mircea Eliade, *Arti del metallo e alchimia*, Bollati Boringhieri, Torino, 1987, pag. 23.
5. Claudio Giardino, *I metalli nel mondo antico*, Editori Laterza, Bari, 2002, pagg. 100-107.
6. John Emsley, *Nature's Building Block. An A-Z Guide to the Elements*, Oxford University Press, Oxford, 2002, pag. 120.
7. Primo Levi, *Il sistema periodico*, Einaudi, Torino, 1975, pag. 188.
8. Adriano Zecchina, *Alchimie nell'arte*, Zanichelli, Bologna, 2012.
9. Pietro Pedferri, *Titanocromia (e altre cose)*, Interlinea, Novara, 2013.
10. Sam Kean, *Il cucchiaino scomparso*, Adelphi, Milano, 2012.

