

Storia e Leggenda del vetro

Scienza e tecnologia dei Materiali:

Paolo Mazzoldi mazzoldi@padova.infm.it

COPIA PER LA DISTRIBUZIONE IN EGOCREANET

La Scienza e Tecnologia dei Materiali nasce e si sviluppa assieme alla storia dell'*uomo sapiens*, che coincide con quella dell'*uomo faber*, accompagnando lo spirito di intraprendenza e l'inventiva dell'uomo fino dagli inizi della sua lunga storia. L'uomo si è sempre impegnato nell'utilizzo dei materiali e degli oggetti, presenti in natura, per realizzare utensili che gli semplificassero la vita. Nella fase iniziale del suo percorso "tecnico-scientifico" l'uomo si è avvalso per la costruzione di contenitori ed utensili di materiali di origine vegetale come il legno, o di origine animale come l'avorio, l'osso ed il corno oppure di origine minerale, come la pietra, l'argilla, i metalli e le loro leghe, arrivando nel 2000 a.C. al ... vetro.

L'uomo del paleolitico, il periodo più antico della preistoria iniziato circa 2 milioni di anni fa e durato fino alla termine della quarta ed ultima glaciazione, circa nel 8500 a.C., accorgendosi che scheggiando una selce otteneva delle scaglie molto taglienti, imparò a realizzare coltelli, raschiatoi, seghe ed oggetti simili. Nell'età neolitica, ultimo periodo dell'età della pietra, i cui inizi datano tra il IX ed il VII millennio a.C., a seconda dei territori, l'uomo imparò a realizzare utensili accuratamente levigati. La seconda conquista dell'uomo fu la terracotta. Modellando l'argilla umida, che successivamente riscaldata acquistava durezza ed impermeabilità, poté realizzare contenitori e vasi. Seguì la scoperta della metallurgia, che permetteva tramite il calore di ottenere un metallo che poteva essere forgiato nelle forme più varie. Il periodo calcolitico, o eneolitico, è caratterizzato, come indica il nome del rame, $\chi\alpha\lambda\kappa\acute{o}\varsigma$, dal processo di lavorazione del rame. L'uso del rame si estende dal VII al IV millennio a.C. in Iran e nei Balcani, mentre la tecnica di fusione del rame è attestata nel V-VI millennio a.C. L'uso del rame si estese tra il 5000 ed il 3500 in Egitto e tra il 3500 ed il 2500 a Creta e Cipro. Il rame però presentava una certa morbidezza, che lo rendeva inadatto a certi usi e si giunse a vari tipi di leghe, finché si arrivò alla scoperta del bronzo, intorno al 3000 a.C., una lega rame-stagno. Le armature degli eroi della guerra di Troia, come indicato da Omero nell'Iliade, erano di bronzo e lucenti ($\chi\alpha\lambda\kappa\omicron\theta\acute{\omega}\rho\alpha\acute{\xi}$) !! Cominciò quindi quella che è indicata come *l'età del bronzo*. Quanto alla lavorazione del ferro, l'inizio non è certo, ma si diffuse in occidente tra il X e IX a.C. Pur essendo gli artigiani romani esperti sull'uso di vari metalli, come l'oro, l'argento, il rame ed il ferro, Ovidio nelle metamorfosi narra di un'età dell'oro, dell'argento, del bronzo e del ferro senza un collegamento cronologico, ma affidandosi ad una esigenza poetica. La tradizione ascrive la scoperta e l'uso di diversi metalli a popoli mitici, in cui si possono ravvedere consorteie depositarie dei segreti delle tecniche di lavorazione. Tra questi troviamo i Dattili, originari dell'Ida di Frigia, primi minatori e fonditori di metalli, i Cureti, che per primi hanno estratto e lavorato il rame dell'Eubea, isola della Grecia nel mare Egeo, e seguaci della dea Rea. Come racconta il mito durante la nascita di Zeus avevano eseguito una danza sbattendo fragorosamente gli scudi di bronzo con le spade per coprire i vagiti del neonato affinché il padre Crono non potesse udirli. E poi i Coribanti, accolti della dea Cibele, fabbricanti di lance, spade e scudi, i Cabiri, di provenienza fenicia, stabilitisi a Samotracia e i Telchini, originari di Creta, che si diceva discendessero da Poseidone e che lavorando metalli avevano prodotto il tridente di Poseidone ed il falchetto di Crono. Nei racconti mitologici troviamo le indicazioni dell'espansione della tecnologia dei metalli dai paesi settentrionali dell'Asia Minore alla Grecia ed al Mediterraneo. Interessante a tal proposito il racconto di Lucrezio (I sec. a.C.): *“Il bronzo, l'oro ed il ferro come l'argento ed il piombo furono scoperti quando l'incendio ebbe consumato con la sua fiamma immense foreste sulle grandi montagne. Qualunque fosse la causa di quelle fiamme quando il loro ardore, in mezzo ad un orribile fragore, aveva divorato le foreste sino al più profondo delle radici e quando i fuochi avevano calcinato le viscere della terra, scorrevano nella cavità del suolo ruscelli d'oro e d'argento. Quando gli uomini vedevano quei metalli solidificati diffondere sulla terra il fulgore dei loro vivi colori, li portavano via, sedotti dalla bellezza brillante e levigata, e notavano che ognuno conservava la forma e l'impronta della*

cavità da cui proveniva. Allora nacque l'idea che quei metalli fusi dal fuoco erano capaci di colare nelle figure e le forme di oggetti possibili e che si poteva, forgiandoli, appuntirli ed assottigliarli in punte tanto fini quanto si voleva, in modo da farsene armi, da poter tagliare le foreste, appianare il legno, piallare e levigare le travi, bucare, percuotere, perforar. All'inizio si cercò di impiegare in questi usi tanto l'argento e l'oro che il bronzo, la cui resistenza si prestava meglio agli sforzi violenti, ma senza successo, perché si piegavano, vinti sotto i colpi, e non potevano come il loro rivale (il bronzo) resistere ai duri bisogni”.

Plinio il Vecchio morto nel 79 d.C. sotto l'eruzione del Vesuvio, così descrive il metallo argento:

“L'argento non si trova se non nei pozzi e non fornisce indizi della sua presenza, non ci sono, come per l'oro, pagliuzze scintillanti. Il materiale, grezzo è talora rosso, talora color cenere. Non può essere fuso se non in combinazione con il piombo nero o con la vena di piombo, chiamata galena, che si trova in prossimità di vene d'argento. Nello stesso trattamento con fuoco una parte precipita in piombo, mentre l'argento galleggia in superficie come olio sull'acqua”.

Ed arriviamo al vetro, fondamentale per il cannocchiale di Galileo!!



Il vetro già esiste in natura. Il più antico vetro naturale che sia noto è quello contenuto in certe meteoriti cadute sulla terra e risalenti a circa 4500 milioni di anni fa. Quello più comune è l'ossidiana, formatasi per rapido raffreddamento della lava, probabilmente durante i fenomeni vulcanici. Piccole sfere di vetro, del diametro di circa 1 mm, vecchie fino a 3 miliardi di anni sono abbondanti sulla superficie lunare. L'esistenza di queste sfere nella sabbia lunare, come vetri a forma di *manubrio*, simili a quelli ritrovati nel cratere Lonar, riportati in figura, suggerisce che questi oggetti siano stati

formati dall'influenza della tensione superficiale sul getto del vetro fuso, senza dubbio generato dall'impatto delle meteoriti. A causa della mancanza di una atmosfera, la luna era soggetta ad un continuo impatto delle meteoriti. La Fulgurite è un'altra pietra vetrosa, che si forma quando un fulmine, colpisce la Terra, creando elevate temperature. Il terriccio e la sabbia sulle quali cade il fulmine, fondendo, danno luogo alla formazione di queste pietre tubolari dalla forma fantastica.

La storia tecnologica del vetro si distingue in due grandi fasi, quella precedente e quella posteriore all'invenzione della soffiatura nel I secolo a.C. La scoperta della soffiatura del vetro ha avuto una forte influenza sullo sviluppo culturale della società umana, contribuendo ad un profondo cambiamento nelle abitudini e nei costumi e dell'uomo. Tale scoperta ebbe un impatto pari forse solo a quello della plastica ed altri derivati del petrolio. La plastica diventerà il fossile guida per gli archeologi del futuro, data la sua diffusione e purtroppo indistruttibilità.

Nel 54 a.C., poco prima della invenzione della “soffiatura”, Cicerone (Orazione *Pro Rabirio*



Postumo) affermava, che il vetro era tra i materiali più lussuosi, insieme al lino ed alla carta. In uno scavo alla fine degli anni '70 dell'ultimo secolo sotto il selciato di una strada, nel quartiere ebraico della città vecchia a Gerusalemme, costruita da Erode nel 37-34 a.C., è stata individuata una vasca contenente frammenti di vetro, assieme a monete e reperti ceramici, che hanno permesso di fissare la tecnica della soffiatura metà del I sec. a.C. Una incisione eseguita da G. M. Mitelli nel 1698 sottolinea la

difficoltà della tecnica nella realizzazione di particolari oggetti, con i commenti dei cavalieri sull'opera del soffiatore: *è difficile farla, io osservo, ma facile a romperla, si vedrà alla fin dell'opra* e sulla statuetta, che il soffiatore sta realizzando *fatta di vetro io son, e son di soffio*.

Il vetro è forse il risultato di una scoperta fortuita, come indicato da Plinio il Vecchio, nel XXXVI Libro della *Naturalis Historia*. L'importanza nella Scienza di una “scoperta fortuita” viene sottolineata da Stanley Kubrick nel film “2001 Odissea nello Spazio” quando due gruppi di ominidi in lotta vogliono conquistare una pozza d'acqua. Uno dei contendenti trova un osso per terra ed impugnandolo colpisce l'avversario che cade morto a terra. Casualmente è stato scoperto un oggetto che poteva essere trasformato in strumento e la comprensione di ciò origina ..l'uomo sapiens. Da una scoperta fortuita dell'osso, come utensile, comincia una catena ininterrotta di successive

scoperte che porterà quel grezzo e pesante osso, scagliato in aria dall'ominide, a ricadere sotto forma di leggera ed elegante penna nella mano di un ...astronauta. Così Plinio racconta la scoperta del vetro: *“Quella parte della Siria che si chiama Fenicia e che confina con la Giudea include nel monte Carmelo una palude che si chiama Candebia. Si crede che da là nasca il fiume Belo, che dopo aver percorso cinque miglia sfocia nel mare, nei pressi della colonia di Tolemaide. Il suo corso è lento, le sue acque non sono buone a bere e tuttavia sono usate nelle cerimonie sacre; il suo letto è limoso, profondo e riversa nel mare le sue sabbie solo con la bassa marea. Perciò queste brillano, finché non sono agitate dalle onde e ripulite così dalle impurità; inoltre esse furono utilizzate solo nel momento in cui si pensò che avessero proprietà aspre e astringenti, tipiche dell'acqua salmastra. E proprio in un così piccolo litorale, non più largo di cinquecento passi, molti secoli fa ebbe origine il vetro. Si narra che una nave di mercanti di soda sia lì approdata; i mercanti, riversatisi sulla spiaggia, cominciarono a preparare le cibarie, ma non essendovi una pietra adatta a sostenere il focolare, posero sotto i calderoni dei pani di soda (“nitrum”) che avevano preso dal loro carico, ma quando li accesero dopo che essi si furono impastati con la sabbia, un rivo di nuovo, trasparente liquido cominciò a fluire: questa fu l'origine del vetro”*



E' curioso ricordare che in Egitto il vetro veniva indicato con il termine *iner en wedeth* che significa *pietra del tipo che scorre*. Ma la storia di Plinio non regge. Testimonianze archeologiche della più antica lavorazione del vetro ci portano in Mesopotamia, a Eshnunna, dove è stata trovata una sbarra di vetro blu risalente al tardo periodo sargonide (XXIII sec. A.C.). Due secoli più avanti all'inizio della III dinastia di Ur (XXI sec. a.C.) si data invece il blocco in vetro blu trovato a Eridu; uniche testimonianze archeologiche che attestino la lavorazione del vetro nel III millennio a.C. Inizialmente il vetro era utilizzato per la realizzazione di monili o intarsi per imitare le pietre dure o semipreziose, più costose. Solo

intorno la metà del II millennio A.C. (fine XVI o XV sec. a.C.) cominciano ad essere prodotti in Mesopotamia i primi vasi in vetro, imitanti la coeva ceramica di Nuzi, realizzati con la tecnica di modellazione su nucleo preformato; essi potevano essere in vetro monocromo, decorato con filamenti colorati, sia in vetro a mosaico.



Nuzi un'antica città della Mesopotamia, presso l'odierna città in Iraq Yorgan Tepe, faceva parte del regno hurrita di Mitanni e fu distrutta dagli assiri nel XIV secolo. Negli scavi di questa città si sono ritrovate 4000 tavolette con importanti testimonianze degli usi giuridici, molto simili a quelli dei patriarchi biblici. E' abbastanza credibile che la

scoperta della tecnica della modellazione su nucleo sia una diretta conseguenza del processo di lavorazione della ceramica, nota dal V o inizi IV millennio a.C. nel Nord della Siria e diffusa in Mesopotamia, nell'Elam (parte sud-occidentale dell'odierno Iran), nella valle dell'Indo, in Palestina, Egitto e verso ovest nell'Egeo e nell'Asia minore e forse anche in Europa. Probabilmente



qualche artigiano osservando la maggiore durezza dell'invetriatura, rispetto allo strato interno di terracotta, asportò quest'ultimo ottenendo il prototipo di un vaso di vetro. Lo sviluppo in Egitto della produzione del vetro è attestato da piccoli vasi trovati nella tomba del faraone Tutmosi III, che probabilmente ritornando dalle campagne militari svolte tra il 1467 e 1445 a.C. in Siria condusse con sé vetrai siriani, che dettero un impulso all'artigianato locale.

Un esempio è la coppa ritrovata nella sua tomba o il contenitore di unguenti, a forma di pesce, nel Palazzo di el-Amarna, XIV sec. a.C. Per la conoscenza della lavorazione del vetro possiamo fare riferimento ad antiche ricette contenute nelle Tavolette rinvenute nella biblioteca del Palazzo di Ninive (sul Tigri, vicino all'attuale Mosul) fatto costruire dal re Asurbanipal (668-627 a.C.), ad una tavoletta, di provenienza sconosciuta, datata tra il XIV e XII sec. a.C., che illustra una ricetta per il vetro rosso, un frammento proveniente

da Babilonia datato al XII sec. a.C. ed una tavoletta proveniente da Bogazköi (Turchia). Le tavolette

parlano di due ingredienti: *immanakku* (agglomerati di quarzo che fornivano i silicati) e *ahussu* (ceneri di una pianta non identificata, detta *naga*, che forniva gli alcali). I due ingredienti venivano triturati e polverizzati prima di essere posti nel crogiolo in proporzioni variabili. Nelle produzioni ellenistiche e romane, l'ingrediente principale era la sabbia di qualità pura proveniente, come sottolinea Plinio, dal fiume Belo sulla costa fenicia. Tacito fu divulgatore delle meraviglie di questo fiume "Anche il fiume Belo sfocia nel mare della Giudea e intorno al suo delta fondono in vetro le sabbie scelte mischiate con nitro. Questa spiaggia non è molto estesa, però coloro che la utilizzano non arrivano ad esaurirla" Strabone accenna a terre vetrose reperibili in Egitto, senza le quali non si potevano produrre vasi di pregio. Nella produzione di vetri i Veneziani nel 1500 andavano a prendere i ciottoli (quocoli) del fiume Ticino, perché più "puri" della sabbia. La sabbia veniva preferita in generale per evitare la frantumazione e polverizzazione. Per abbassare la temperatura di fusione si aggiungono alcali di origine minerale (soda) od origine vegetale (soda e potassa). La soda veniva ricavata dai blocchi di nitro o *natron* di cui l'Egitto e l'Asia Minore possedevano ricchi depositi naturali. Le ceneri per fondente sodico venivano da piante delle coste mediterranee come la salicornia, mentre le ceneri per fondente potassico provenivano da piante boschive come la felce e la quercia. Si utilizzavano anche cereali (grano, segale ed orzo), vegetazione di palude (canneti), erica. Venivano aggiunti inoltre carbonati di calcio per rendere il vetro insolubile in acqua, presenti



nelle sabbie e conchiglie polverizzate. Interessante lo scritto di Plinio: "L'inquieta intelligenza dell'uomo non fu più paga di mescolare solo il nitro con la sabbia e si cominciò ad aggiungere anche il magnete (varietà nera da Magnesia in Macedonia), perché si crede che attiri anche il liquido del vetro alla pari del ferro. Analogamente si prese a fondere assieme anche pietre lucenti di varie specie e poi conchiglie e sabbia fossile (tratta da cave). C'è chi dice che in India il vetro si faccia anche con frammenti di cristallo (quarzo) e che perciò nessun vetro è comparabile con quello indiano" Per colorare il vetro si aggiungevano ossidi di ferro, rame, manganese, cobalto. Gli ossidi di ferro erano già presenti nelle sabbie e determinavano una colorazione verdastra al vetro. L'aggettivo greco "verde" infatti proviene dal

sostantivo vetro, proprio per i colori dei primi vetri. Per attenuare questa colorazione si aggiungeva ossido di manganese (chiamato *sapone dei vetrai*) determinando la formazione di un vetro incolore. I vetri mesopotamici contenevano antimonio che era colorante e opacizzante (vetro giallo) ma anche decolorante. A partire dal I d.C. viene sostituito dal manganese, definitivamente utilizzato nel III d.C. Il Vetro blu: tipico della produzione egizia (Malqata e Tell el-Amarna, corte faraone ed artigianale a Lisht,) veniva ottenuto con il cobalto, o con il rame. L'aggiunta di rame determinava due tonalità:ossido rameico (CuO) con colorazione blu, ossido rameoso (CuO₂) con colorazione



rosso-ceralacca. La formazione del tipo di ossido dipende dall'*atmosfera* di trattamento termico. In atmosfera *ossidante*, il rame entra in soluzione con il vetro e si forma la colorazione blu; in atmosfera *riducente* si realizza la formazione di cristalli di ossido rameoso con conseguente opacità e colorazione rossa. La precipitazione dell'ossido di rame viene favorita dalla presenza di piombo nei vetri rossi di manifattura egizia (XVIII dinastia), ellenistici, romani e bizantini. Un blocco di vetro rosso ritrovato a Nimrud (Mosul Iraq) contiene il 23% di ossido di Piombo. Il piombo veniva anche unito al vetro bianco (cammeo) per renderlo più lavorabile.

Il vetro cammeo ebbe uno sviluppo notevole nel periodo romano con la produzione di vasi o pannelli di notevole bellezza, come il vaso "Blù" del I sec. d.C. rinvenuto a Pompei, riportato nelle due figure. La presenza di ossidi di magnesio è di solito costante ed è legata al tipo di sabbia usata. Il vetro romano ed ellenistico presentava bassa percentuale di potassio e magnesio, mentre quelli mesopotamici, sasanidi (Persia) e islamici a base di soda vegetale, presentano un maggior contenuto di potassio e magnesio. Altri elementi in tracce : litio, argento,

cromo, vanadio, boro, zirconio, zinco, allumina (proveniente dal crogiolo). Plinio ci descrive il processo di fabbricazione del vetro *“Il vetro si fa liquefare come il rame in una serie di fornaci contigue e si formano lingotti nereggianti di colore lucente. Il vetro fuso è così penetrante, in qualsiasi punto, che incide fino alle ossa qualunque parte ne sia colpita, senza che lo si avverta. Dopo essere stato ridotto in lingotti si fonde di nuovo nelle officine e si tinge: alcuni pezzi sono plasmati a fiato, altri sagomati al tornio, altri cesellati come l’argento: un tempo per queste officine era famosa Sidone, se è vero che là sarebbero stati inventati gli specchi”* Un ulteriore contributo proviene dalla Antologia Palatina, raccolta di 3700 epigrammi greci, ordinati per argomento in 15 libri, composti nel periodo III sec.a.C–VI d.C. ritrovata nel 1606 nel Codex Palatinus ad Heidelberg, con un breve componimento di età adrianea del poeta Mesomedes: *“L’artigiano, dopo averlo estratto, e fatto a pezzi porta il vetro e introduce la massa dura come il ferro nel fuoco: questo si fa rovente per le fiamme che lo circondano e si versa, come fosse cera. Per gli uomini è un prodigio vedere un rivolo di vetro fuso fluire dal fuoco, mentre l’artigiano trema, perché non cada e si rompa, per questo pone la massa sulla punta della doppia tenaglia”*

Nelle tavolette di Ninive vengono nominati tre tipi di forni vetrari : kūru, atūnu, tenūru. Del forno kūru vengono indicati due tipi: il primo, destinato alla realizzazione della frittata (zuku), è fornito di quattro bocche, mentre il secondo destinato alla fusione e lavorazione del vetro prevedeva la presenza di una camera con una apertura che poteva essere chiusa con uno sportellino. Il forno atūnu viene utilizzato se è necessario tenere il fuoco acceso per lungo tempo ed è associato all’uso di un particolare contenitore-matrice (per sigilli, coppe, monili) piuttosto che un crogiolo. Del forno tenūru si sa poco. La struttura dei forni medioevali è visibile, ad esempio, nella a) Miniatura dal codice Vaticano *De Universo* di Rabano 1425 d.C., che riproduce in parte la più antica raffigurazione medievale di un forno, che appartiene ad un manoscritto, redatto nel 1023, conservato nell’Archivio dell’Abbazia di Montecassino. Il forno rappresentato manca della camera di ricottura, necessaria per evitare successive fratture del vetro, a causa di tensioni meccaniche. Nella Miniatura dal Manoscritto (b) dei *Sir John Mandeville’s Travels*, Londra 1420 d.C., il forno evidenzia quest’ultima camera (in basso a sinistra). Infine particolare è la Miniatura dal manoscritto *Surname-i-Himayun* (c) realizzata in occasione della Circoncisione dei figli del Sultano Murad III, 1582, dove è rappresentata anche una processione con bottiglie di vetro.



(a)



(b)



(c)



I forni nell'antichità funzionavano a legna, ma la scarsità di boschi in Egitto e Mesopotamia può far pensare il ricorso anche al letame, attizzando le fiamme tramite soffietti. I testi cuneiformi precedentemente citati suggeriscono l'uso di legna di pioppo, dopo averla fatta seccare accanto al forno, priva di nodosità, per ridurre il fumo. Plinio suggerisce l'uso di legna leggera e secca, mentre Plutarco dice che si deve usare legno di tamerice. A Torcello si preferiva il legno di pioppo. Lo sviluppo del vetro, in particolare per la produzione di vetrate, ha avuto un impatto devastante sull'ambiente, cosicché già nel 1615 in Inghilterra fu proibito di usare legna per forni vetrari, allo scopo di evitare una deforestazione incontrollata. Sugeriamo a chi è interessato anche "alla tecnologia antica" di

leggere, a tal proposito, il libro, scritto all'inizio del XII secolo, del monaco Teofilo "De diversis Artibus" o quello del Prete Antonio Neri, del 1612, "L'arte vetraria, distinta in libri sette", nel quale "si mostrano i modi di fare nel vetro i colori di giallo d'oro, colore di Granato, di Ametista, di Zaffiro, di Nero vellutato, di Lattimo, Marmorino rosso, in corpo et il modo di fare Fritta con cristallo di Montagna, il modo di tingere il vetro in colore di Perla e altri particolari".



Una tecnica che i vetrai, nella Roma del IV secolo d.C., sfruttarono appieno per una serie di medaglioni destinati ad essere collocati sul fondo delle ciotole, fu quella di applicare una lamina di oro sulla superficie vitrea o di inserirla tra due strati, come quella riportata in figura, relativa ad una ciotola del IV-III sec. a.C, ritrovata a Canosa in Puglia. Il prodotto fu "abituamente" chiamato *vetro aureo*. Medaglioni con scene cristiane sono stati trovati soprattutto nelle catacombe al di fuori delle mura di Roma. Negli scritti di Petronio Arbitro, del I sec. d.C., descritto da Tacito negli Annali,

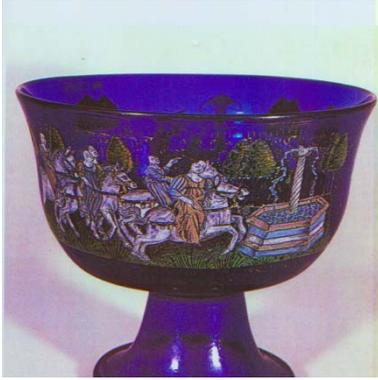
come un raffinato seguace della dottrina epicurea, *arbiter elegantiarum*, che ricevette da Nerone l'ordine di suicidarsi per aver, forse, partecipato alla congiura di Pisone, si racconta come la scoperta del *vetro infrangibile*, sia stata "troncata" per evitare la crisi del mercato degli oggetti in argento od oro. "Ci fu un artigiano che fece una coppa di vetro che non poteva essere distrutta. Egli, ammesso alla presenza di Cesare, la mostrò all'imperatore, il quale esaltando l'opera lo ringraziò. L'artigiano allora prese all'improvviso la coppa di vetro dalle mani di Cesare e la gettò sul pavimento. L'imperatore vedendo così si stupì molto; ebbene l'artigiano sollevò la coppa da terra e mostrò a Cesare che non si era rotta ma era tanto ammaccata quanto un vaso di bronzo. Quindi estrasse dalla borsa un martelletto e riparò la coppa molto tranquillamente. Dopo che aveva fatto questo, si immaginava di avere il mondo in pugno, soprattutto quando Cesare disse: "Forse pensi che un altro artigiano possa fare questo lavoro?" Quando l'inventore negò, Cesare ordinò che egli fosse decapitato, infatti pensava che questa lavorazione avrebbe fatto dell'oro sterco" Questo episodio ci ricorda che spesso importanti risultati della ricerca siano stati "oscurati" per evitare perdite di mercato. Ad esempio la realizzazione nel 1936 di un vetro per parabrezza di auto, che evitava, al momento della rottura per un incidente, la formazione di piccoli frammenti pericolosi è stata tenuta nascosta per poter esaurire i parabrezza disponibili! Il riciclo del vetro era presente nel I sec. d.C. come documentano Stazio (40-96 d.C) e Marziale (38-104 d.C.) : durante le feste venivano acquistati vetri rotti, pagati con zolfo grezzo "*comminutis permutant vitreis gregale sulphur*" "*Transtiberinus ambulator, qui pallentia sulphurata fractis permutat vitreis*". Il riciclo del vetro non è un'idea moderna!

Ma la "magia" del vetro nasce con le vetrate. La vetrata è un mosaico di pezzi di vetro di vari colori, rappresentante generalmente nelle Cattedrali episodi del Vecchio e Nuovo Testamento, tenuto insieme da listelli di piombo, inserito in un telaio e poi fissato allo stipite della finestra. Come primo esemplare ritrovato di vetrata è stato un frammento dell'epoca carolingia raffigurante una testa di Cristo. L'impiego del vetro in edilizia a Roma era piuttosto per la decorazione degli interni delle case dei nobili ed importanti edifici pubblici, come, citati da Plinio, il Teatro Sauro e le terme di Agrippina. Cicerone, nella citata orazione *Pro Rabirio Postumo*, afferma che "*deve ritenersi molto povero colui i cui appartamenti non sono decorati in vetro*" Si deve però pensare non a lastre di vetro, ma a tessere musive di materiale vetroso come rivestimento murale. L'ebreo Filone parla di

vetri usati per le finestre in un passo del racconto della sua ambasciata presso l'imperatore Caligola (prima metà del I sec. d.C.). La produzione di grandi vetrate è avvenuta nel XII sec. La tecnica della vetrata consisteva nel disegnare un cartone bianco od una tavola con l'indicazione dei vari colori e successivamente tagliare le lastre, di differenti colori, secondo il disegno. I singoli pezzi di vetro venivano poi dipinti con una tinta monocroma, generalmente nero-bruno, a base di ossidi metallici, detta *grisaille*, per sottolineare i contorni ed i dettagli delle figure od oggetti. Successivamente i vetri venivano ricotti per fissare i colori ed inseriti in un reticolo di listelli di piombo. Nel 1300 venne introdotto un nuovo metodo di colorazione tramite un sale minerale, "giallo d'argento", che dopo essere stato disteso sul vetro e sottoposto a cottura, conferiva diverse tonalità di giallo, modificando i colori iniziali. Questa procedura rendeva possibile la coesistenza sullo stesso pezzo di vetro di due colori, con una riduzione dei listelli di piombo necessari. Molte vetrate sono state progettate dai pittori del tempo, come Paolo Uccello, il Ghirlandaio, Taddeo ed Agnolo Gaddi, Duccio di Boninsegna, Le vetrate hanno dato una svolta architettonica di grande rilevanza, sostituendo all'interno delle Basiliche alla luce riflessa (affreschi) o riflessa-rifratta (mosaici), che proveniva dall'interno della Chiesa, la luce trasmessa, interpretata come "la luce di Dio". *Le finestre invetriate che sono nella chiesa, attraverso le quali si trasmette la chiara luce del sole e sono tenuti lontani i venti e le piogge, stanno a significare le sacre scritture che illuminandoci allontanano da noi il male* (Pierre de Roissy, cancelliere della scuola della cattedrale di Chartres 1208-1213). Si riportano quattro vetrate come esempi della *magia* del Vetro. Testa di Cristo, il più antico frammento ritrovato, del IX sec. d.c., trovato a Lorsh; l'Ascensione di Cristo dalla Cattedrale di Mans (Loira), 1130-1140; la Natività, su cartone di Paolo Uccello, S. Maria del Fiore (Firenze) 1443 e la Tribù di Naphtali di Chagall, Sinagoga di Gerusalemme, 1962.

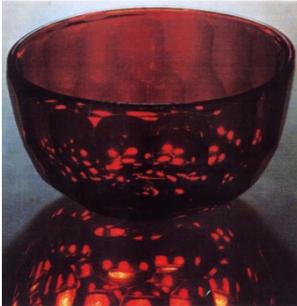


Venendo a Venezia, certamente nel 1268 gli artigiani del vetro erano già sufficientemente consolidati come corporazione per partecipare, insieme a quelli di altre corporazioni, alla processione per i festeggiamenti al nuovo Doge e fecero la loro apparizione recando in mano "bottiglie d'acqua, boccette da profumo e altri graziosi oggetti di vetro" (secondo la *Cronaca* di Martino da Canale). Tra anni più tardi venne approvato il capitolare degli artigiani del vetro, che dettava le norme di condotta per i membri della corporazione, ma riconosceva loro una posizione privilegiata, vietando sia l'importazione del vetro a Venezia sia la lavorazione a opera di qualsiasi padrone di fornace straniero. Le norme che regolamentavano il lavoro delle fornaci stabilivano un minimo di tre forni per ognuna, la qualità del combustibile (solo legno di salice od ontano) e la presenza di due guardiani notturni. A causa dei rischi di incendio nel 1292 il Gran Consiglio decretò il trasferimento di tutte le fabbriche del vetro veneziano a Murano, a circa un'ora di navigazione a remi dalla città. Il capitolare del 1271 aveva stabilito che l'esportazione dei prodotti potesse aver luogo ogni anno solo dopo la chiusura delle fornaci in agosto, ma nel 1282 i documenti veneziani indicano che i prodotti di vetro erano esportati da mercanti tedeschi. Le vetrerie veneziane per la lavorazione del vetro *crown* utilizzavano grandi quantitativi di barilla, pianta marina, nota come salicornia, ricca di carbonato di soda, che si otteneva da alcune paludi d'acqua salmastra, aggiungendo piccole quantità di calce. La barilla spagnola di Alicante, considerata la migliore del Mediterraneo era probabilmente molto usata a Venezia. Peraltro le autorità veneziane presero seri



provvedimenti per impedire l'uso di materie prime poco pregiate come, ad esempio l'allume di Alessandria, proibito dagli editti emanati nel 1306 e 1330, poiché il suo uso abbassava la qualità del vetro e di conseguenza la reputazione del vetro veneziano. Nel 1500, lo scrittore Georg Agricola, un anziano studioso che nel 1550 scrisse la prefazione della sua grande opera *De Re Metallica*, pubblicata a Basilea nel 1556, espone nel libro XII dettagliatamente la tecnica di lavorazione del vetro a Murano e la tipologia delle fornaci. Durante le sue visite a Murano era stato colpito dalla varietà delle forme che si potevano produrre con l'appena perfezionato vetro cristallo, un materiale sottile, quasi senza peso, puro ed

incolore, che permetteva agli artigiani di realizzare, soffiandolo e lavorandolo, le forme più complicate più complicate ed eleganti. Il vetro cristallo veneziano è un



vetro sodico ottenuto con varie tecniche impiegate durante la fusione come la depurazione della cenere fondente e della silice la decolorazione con il manganese. I veneziani per ottenere una silice più pura utilizzavano i ciottoli del Ticino (quocoli), come indicato nel testo di Neri. Fu creato da Angelo Barovier e si prestava per complesse lavorazioni, per l'incisione a punta di diamante, ma non era adatto all'intaglio ed alla molatura. Nella figura viene riportata l'opera più famosa del Barovier del 1500 " *La coppa di nozze*"!!! Un'altra invenzione importante, del Barovier è il bel vetro variegato ad imitazione dell'agata chiamato "chalzedonia", che, con

riferimento a ricette nei Trattatelli Toscani del XV sec." *a far calcedonio che si chiama coda di pavon*2 o " *a far calcedonio che sia come ovo di pavon*", si otteneva mescolando vari componenti, principalmente ossidi metallici (ferro, rame), solfuro di mercurio, piombo calcinato, argento fino,

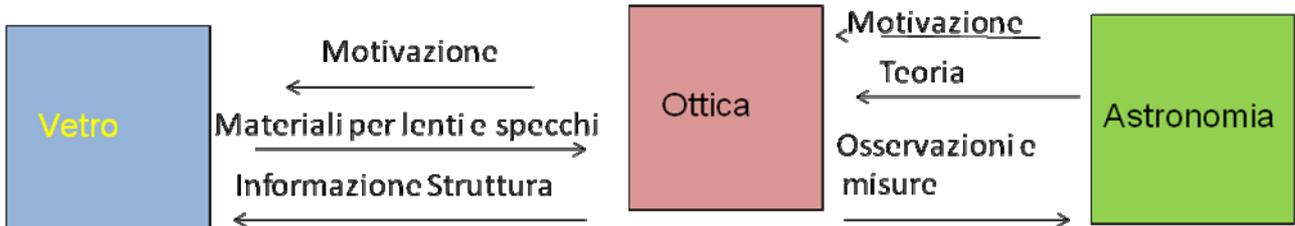


carbonato basico di rame e vetro cristallino. Per superare le difficoltà del vetro veneziano inadatto nella lavorazione con la mola, le vetrerie boeme nel XVI sec. svilupparono un vetro contenente un composto di potassa, proveniente dalla vegetazione locale, calce e silice, più resistente. Ancor prima, gli artigiani boemi avevano nuove tecniche di depurazione della potassa e delle altre materie prime, usando inoltre il manganese come decolorante. L'aggiunta di solfato di calcio (gesso) dava al vetro delle caratteristiche di durezza tale da permettere incisioni con la ruota. Inoltre era stato messo a punto un nuovo tipo di forno che ebbe un successo tale da essere usato fino al XIX sec. Nel 1689,

Kunckel, alchimista e chimico di talento di una famosa famiglia di artigiani produsse un vetro rosso rubino per mezzo di un precipitato di oro, cloruro d'oro. La colorazione rossa è collegata alla formazione di particelle d'oro, come peraltro avevano realizzato nel IV sec. d.C. i vetrai romani, con contemporanea presenza di argento, con il famoso vaso di Licurgo. Il vaso di Licurgo presenta una diversa colorazione se osservato in riflessione, verde, o in trasmissione, rosso, per la presenza di nanoparticelle di oro e di argento (cioè particelle della dimensione di 70 nanometri (un nanometro corrisponde ad un miliardesimo di metro). Un primo esempio di nanotecnologie! La presenza di nanoparticelle hanno creato meravigliosi colori in molte vetrate.

Venezia subì un duro colpo nel mercato del vetro, quando in Inghilterra fu fatta una scoperta rivoluzionaria: l'invenzione di un straordinario vetro al piombo con un grande poter di rifrazione della luce. Gli esperimenti realizzati da George Ravenscroft a Londra tra il 1674 e il 1676, grazie al brevetto concessogli nel marzo 1674 per un " *vetro cristallino rassomigliante al cristallo di rocca*", resero possibile la produzione di un vetro resistente, rafforzato con ossido di piombo per evitare la devetrificazione, cioè la formazione di zone cristalline.

Il vetro è un materiale ampiamente utilizzato nell'ottica. Esso può essere progettato nella forma per fornire una vasta gamma di proprietà ottiche. Alternativamente l'ottica fornisce la motivazione per lo sviluppo di varie composizioni del vetro e tecniche per la sua fusione e modellazione. Una schematica illustrazione delle interazioni tra ottica e vetro e ottica ed astronomia viene riportata nella susseguente figura.



La teoria del “big bang” pone l’ottica (la luce) alla creazione del mondo, mentre la Genesi la collega alla creazione della terra. Molti fenomeni, come la visione, l’arcobaleno, l’effetto serra, l’aurora boreale, il rosso tramonto del sole dipendono dai principi dell’ottica.

Nei tempi passati l’interesse per i cieli era notevole, probabilmente più astrologico che astronomico. La dicotomia è simile a quella tra l’alchimia e la chimica. I Greci si basavano più sull’immaginazione che sull’osservazione, tuttavia Talete nel 600 a.C. è stato il primo a studiare le cause delle eclissi, misurando il diametro apparente del sole e della luna. Esso predisse una eclisse solare durante una battaglia, con un grande vantaggio per la sua reputazione. A cominciare dal VI sec. a.C. (Pitagora), e successivamente con Platone ed Aristotele (IV sec. a.C.) ed Euclide, nel III sec. a.C., i filosofi greci diedero contributi alla geometria ed alla astronomia, con una consapevolezza dei primi principi dell’ottica, tra i quali i percorsi rettilinei dei raggi luminosi e le leggi della riflessione, osservando l’uguaglianza dell’angolo di incidenza e quello di riflessione per incidenza dall’aria all’acqua o dall’aria ad una superficie riflettente di rame levigato. Molti dei primi vetri di silice con soda, con una composizione simile a quella delle nostre bottiglie o vetri da finestra, erano opachi, perché la temperatura raggiungibile utilizzando il legno come materiale da bruciare, era troppo bassa per eliminare tutte le bolle dal vetro fuso in tempi ragionevoli. Quindi non sorprende che cristalli di quarzo di alta qualità venissero utilizzati come materiali per l’ottica ed è comprensibile il ritrovamento di lenti di quarzo in scavi archeologici. Nella commedia delle “Nuvole” Aristofane nel 423 a.C. cita un quasi sferico “vetro rovente” che riusciva a focalizzare i raggi solari bruciando uno stoppaccio posto sul *fuoco ottico* della sfera. Nel 50 a.C. Seneca suggerisce un miglioramento per focalizzare un fascio luminoso, utilizzando un guscio di vetro scavato riempito con acqua. L’acqua priva di bolle era più trasparente dei vetri disponibili. Considerando il basso indice di rifrazione dell’acqua rispetto a quello del vetro, il volume d’acqua riduceva il valore medio stesso dell’indice di rifrazione, aumentando la lunghezza focale e la distanza disponibile tra il vetro e lo stoppaccio. Strabone (I sec. a.C. – I sec. d.C.) aveva compreso il fenomeno della rifrazione della luce *“L’impressione visiva di grandezza (del sole) aumenta ugualmente al tramonto e al sorgere sui mari per il fatto che vengono portate in alto maggiori vapori dalla superficie di acqua. I raggi visivi, passando attraverso questi, come attraverso dei vetri, vengono spezzati (rifratti) e l’occhio riceve le immagini più larghe, come anche guardando il tramontare o il sorgere del sole o della luna attraverso una nuvola secca e sottile, quando l’astro appare anche rosso”* Tolomeo, nel II secolo d.C., misurò l’angolo di rifrazione nel passaggio dall’aria all’acqua, in ottimo accordo con la successiva legge di Snell (Snell Van Royen da Leida fine 1500). Erone di Alessandria del I secolo a.C. formulò le leggi della riflessione ipotizzando che la luce segua il minimo percorso. Roger Bacon, seconda metà del 1200 sottolineò che pezzi di vetro curvati potevano ingrandire parole scritte. Ed arriviamo all’invenzione degli occhiali, databile a fine del 1200 a Venezia. E ci aiuta lo Statuto dei *Cristallieri*, che contiene vari articoli (Capitoli) registrati in appositi Capitolari. I *Cristallieri* erano abili artigiani-orafi che lavoravano il *Quarzo* (definito come Cristallo di Rocca), considerata la sua trasparenza, a volte, per motivi di costo, sostituito dal *vetro*. Veniva utilizzato anche il Berillo (allumino silicato di Berillio). Le prime lenti infatti furono denominate Berilli

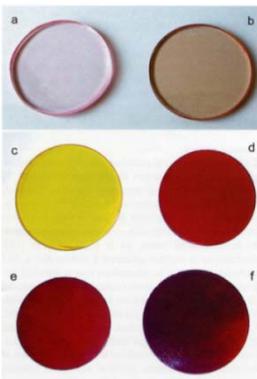
(cristallo di rocca o Berillo). In Germania è rimasto il nome Brillen, mentre in Francia le prime lenti furono chiamate Béricles, poi Bésicles per gli occhiali. In dialetto piemontese gli occhiali Baricole. A tal proposito Nicolò Cusano (filosofo, matematico e cardinale tedesco 1401-1464) intitolò Berillo uno dei suoi scritti e così descrisse il minerale: “Il berillo è pietra risplendente incolore e trasparente alla quale si dà forma cava, o convessa, e chi guarda per essa, arriva a scoprire le cose dapprima invisibili” Il 2 aprile 1300 nel Capitolo XL venne proibito ai Cristallieri la contraffazione del vetro per cristallo (quarzo), e si elenca una serie di oggetti, tra i quali *roidi de botacellis et da ogli e lapides ad legendum* (rotoli per occhi e pietre per leggere).



Il 15 giugno 1301 nel Capitolo XLIII viene liberalizzata la fabbricazione di *vitreos ab oculis ad legendum* (vetri per occhi e per lettura). Interessante ricordare che il 25 febbraio 1305 Frate Giordano de Rivalto (Rialto) durante una predica in S.M. Novella a Firenze, divulga: *Non sono più di vent'anni da quando si è trovata l'arte di fare gli occhiali*. Nel Marzo 1317 in Venezia viene registrata una concessione a persona estranea all'arte di produrre *oglarios de vitro* e venderli in città. Infine, proseguendo con le indicazioni dei Capitolari, nel 1319 si rinnova l'obbligo di giuramento a chi intenda *far rodoli de vero per ogli per lezer* e ordina *de lavorar lialmente e de vender vero per vero e christallo per cristallo*. La scoperta degli occhiali è riportata in un passo della *Cronaca latina* del Monastero domenicano di Santa Caterina a Pisa, nell'elogio

funebre del monaco domenicano Alessandro Spina, morto nel 1313, il quale aveva visto gli occhiali poco dopo l'invenzione e li aveva copiati. I Fiorentini sembra abbiano creato documenti falsi per attribuire la scoperta degli occhiali ad un loro concittadino sulla cui tomba (mai ritrovata) sarebbe stata incisa la seguente frase: *Qui giace Salvino Armato degli Armati, inventor degli occhiali, Dio gli perdoni la peccata*. E' interessante citare che il 21 ottobre 1462 Francesco Sforza Duca di Milano richiede all'Ambasciatore a Firenze “*tre docene di dicti occhiali*”, divise in tre tipologie di vista “*da zovene* (miopia), *da vechi* (presbiopia), *comuni* (ipermetropia). Dopo 14 giorni è stata esaurita la loro richiesta, considerato anche il viaggio di andata ritorno da Milano a Firenze e Francesco e Bianca Maria Sforza ringraziano!. Facciamo un paragone sui tempi per avere un paio di occhiali attualmente !!! Il 13 giugno 1466 Galeazzo Maria Sforza succede al padre e commissiona ben 50 paia di occhiali differenziati in base all'età dei fruitori. Si lavorano le lenti con criteri differenziati e non più solo convesse, per ingrandire. La prima rappresentazione dell'uso degli occhiali, da parte del Cardinale Nicolò di Rouen, è l'affresco (1348-1352) di Tommaso da Modena nel Convento di S. Nicolò Capitolo dei Domenicani, Treviso.

E per concludere questa breve rassegna di importanti, storici e leggendari aspetti del vetro, arriviamo alle nanotecnologie, già, inconsciamente utilizzate dai romani con il vaso di Licurgo!! Il termine nanotecnologia non rimanda solo ad un nuovo tipo di tecnologia, come nel passato ad esempio la microelettronica, ma è un reale cambio di sistema concettuale per avvicinarsi e superare i limiti della fisica classica per entrare nel mondo della meccanica quantistica, allorché le dimensioni degli oggetti studiati divengono paragonabili a quelle atomiche. Particelle di dimensioni nanometriche, metalliche o semiconduttore od ossidi, introdotte in matrici di vetro cambiano le



proprietà ottiche, con interessanti ricadute nella fotonica, ottica non lineare, sensoristica. I vetri colloidali sono un esempio. Il principio di realizzazione di vetri colloidali si basa sulla creazione di una dispersione di nano particelle, a diversa composizione, in un vetro trasparente. La colorazione è controllata dalla natura chimico-fisica delle particelle, costituite da aggregati di atomi metallici come Au, Cu ed Ag (colorazione rubino dovuta all'oro, rubino al rame, giallo all'argento), da aggregati di solfuro e seleniuro di cadmio e loro miscele (colore rosso rubino al solfoseleniuro di cadmio e giallo al solfuro di cadmio), arseniato di piombo e fosfati alcalino-terrosi (vetro girasole e rosa al selenio). In Figura sono riportati alcuni esempi di vetri colorati:(a) rosa chiaro al selenio, (b) rosa al selenio, (c) giallo al solfuro di cadmio, (d) rosso al solfoseleniuro di cadmio, (e) rubino all'oro, (f) rubino al rame. In ciascun caso per ottenere il

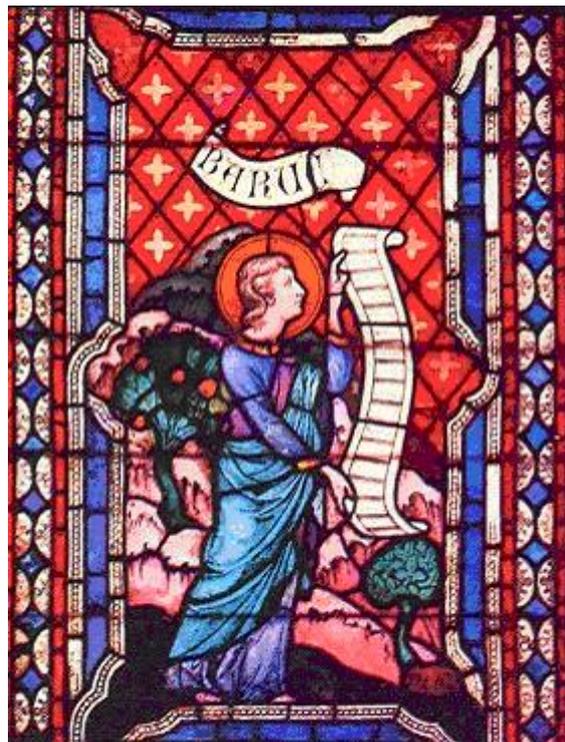


colore ottimale, si devono individuare la matrice vetrosa, lo stato ossidoriduttivo del vetro ed il ciclo termico più idoneo per sviluppare, sia durante la fusione, ma, preferibilmente, in una fase successiva di riscaldamento, particelle con le dimensioni o distribuzione dimensionale, in funzione del colore desiderato.

L'ideale privacy dell'uomo, secondo il giornalista Saul Steimberg, 1943, è una scatola trasparente (*di vetro*) immersa nella natura!!

P.S. : Copia dell' articolo inviata a Paolo Manzelli dal Prof. Paolo Mazzoldi per la disseminazione in

EGOCREANET /ON-NS&A 30 OTT/2008



http://www.torinoscienza.it/dossier/apri?obj_id=9023