

ANDREA BERNARDONI*

La *quaestio de alchimia* nel *De la pirotechnia* di Vannoccio Biringuccio

The *quaestio de alchimia* in Vannoccio Biringuccio's *De la pirotechnia*

Summary – The focus of this essay is Biringuccio's thinking on alchemy, especially his relation with the transmutative process toward it. His approach is not a simple rejection based on ontological and theological questions but an attempt to point towards an epistemological reformation of alchemy. For Biringuccio, alchemy revisited from a rational and empirical point of view fits into his general idea of pyrotechnics. In this way alchemy becomes philosophical and could be seen as the most advanced point of the research on natural generation mechanism and so pyrotechnics becomes a sort of alchemy normalized where the plausible alchemical processes are translated into technological items.

Key words: pirotecnica, alchimia, trasmutazione, epistemologia, artisti-ingegneri

La pubblicazione del *De la pirotechnia* di Vannoccio Biringuccio, avvenuta postuma a Venezia nel 1540, tre anni dopo la morte dell'autore, costituisce uno dei momenti più alti dell'ingegneria rinascimentale e deve essere considerata un passaggio importante nello sviluppo della metallurgia come disciplina tecnico scientifica. Per la prima volta, in un'opera a stampa, venivano raccolte e codificate in una trattazione organica tutte le tecniche relative all'arte mineraria, alla lavorazione dei metalli, del vetro, della pirotecnica militare e civile, compresa anche un'analisi delle teorie e tecniche della tradizione alchemica, analizzate e discusse alla luce di una teoria della materia unitaria¹.

Biringuccio è uno dei rappresentanti principali di quella tradizione di scienziati autodidatti, ai quali ci si è riferiti talvolta come «artisti-ingegneri», «artigiani

* Istituto e Museo di Storia della Scienza. Viale Diaz, 240 - Montevarchi (Arezzo).
E-mail: bernardoni@imss.fi.it

¹ Per una trattazione della teoria della materia di Biringuccio si veda [5, pp. 134-199].

superiori» o «scienziati volgari»² che, a partire dalla metà del XV secolo, si resero protagonisti di una notevole riqualificazione culturale trasformandosi da operatori indotti, che parlavano soltanto attraverso le loro opere manuali, in autori di trattati manoscritti; pensiamo a Mariano di Iacopo detto il Taccola, a Francesco di Giorgio Martini e a Leonardo da Vinci, per citare soltanto alcuni dei più noti³. Il *De la pirotechnia* è la prima opera di questa tradizione ad essere pubblicata e, per questo motivo, può essere considerata uno dei principali veicoli di diffusione del pensiero e delle conoscenze sviluppati negli ambienti professionali extra-accademici, come le botteghe, le corti, i cantieri edili e minerari, nei quali la conoscenza era intesa non più come un qualcosa che si apprendeva esclusivamente dai libri, ma come un'«attività» che dipendeva dal rapporto diretto con i fenomeni naturali⁴. In questo rinnovamento epistemologico, che negli scritti di Leonardo da Vinci e di Biringuccio si presenta già in forma matura⁵, credo che l'alchimia abbia giocato un ruolo importante perché, a prescindere dalla validità o meno del suo fine (la trasmutazione di specie), se interpretata correttamente, questa disciplina promuove un approccio conoscitivo ai fenomeni di trasformazione dei metalli nel quale dimensione teorica e sperimentazione risultano integrate e interdipendenti⁶ e dal quale, come dirà a più riprese nella sua opera Biringuccio, era dipeso in gran parte il progresso scientifico e tecnologico⁷.

La proposta, che avanzo con il titolo, ossia di leggere il del *De la pirotechnia* in relazione alle problematiche della *quaestio de alchimia*, che hanno caratterizzato l'ultima parte del Medioevo a partire dal XII secolo, può sembrare una forzatura e in effetti, ad un primo approccio, l'opera di un ingegnere minerario e militare come Biringuccio sembra aver poco da spartire con il metodo analitico della *quaestio* sviluppato dai filosofi medievali⁸, tuttavia, da una lettura attenta del *De la pirotechnia*, emerge chiaramente l'intento di Biringuccio di voler intervenire sui temi principali del dibattito sull'alchimia prendendo le distanze dall'approccio esclusivamente speculativo dei filosofi scolastici⁹. Inoltre gli argomenti di Biringuccio, anche se in

² Cfr. [18, p. 11], [38, pp. 149-158], [24, p. 63].

³ Per la rivoluzione culturale della quale si resero protagonisti i tecnici rinascimentali si veda: [19], [35], [17], [18], [37].

⁴ Cfr. [35, p. 49], [13].

⁵ Leonardo da Vinci nei suoi scritti si rese protagonista di un tentativo di riforma della meccanica teso a unificare la dimensione teorica con quella pratica che trova la sua massima espressione nel primo dei due codici di Madrid. Cfr. [16].

⁶ Per il ruolo giocato dall'alchimia nella formazione del pensiero degli «artisti ingegneri» si veda [20], [27, p. 125], [37, pp. 59-93].

⁷ Ad esempio Biringuccio attribuisce agli alchimisti la scoperta dell'ottone [7, c. 19v], di alcune tecniche per la lavorazione del vetro [7, c. 41v], degli acidi [7, c. 66r] delle tecniche di distillazione dei vegetali e dei minerali [7, c. 123r-124r].

⁸ Cfr. [10, pp. 119-165].

⁹ Cfr [7, 5r].

maniera postuma, sono recuperati nella *Quaestione sull'alchimia* di Benedetto Varchi, un'opera manoscritta realizzata nell'entourage dell'accademia di Cosimo I a Firenze, nella quale l'ingegnere senese si trovò protagonista di un tentativo di risolvere il problema della verità dell'alchimia sulla base del metodo questionativo¹⁰. Preoccupandosi di neutralizzare gli argomenti di Biringuccio, Varchi, viene a reintrodurre nel dibattito sulla verità dell'alchimia la categoria degli empirici la quale, nel XIII e XIV secolo, era stata presa come capro espiatorio per vanificare le argomentazioni di carattere tecnico ed epistemologico che negavano la verità della trasmutazione¹¹. Nella visione di Varchi le opinioni degli artigiani non costituiscono più un elemento soltanto strumentale per mostrare la fragilità delle argomentazioni tecniche, ma una controparte attiva del dibattito sulla verità dell'alchimia. Se nel basso medioevo l'alchimia poteva essere difesa richiamandosi al rigore teorico come guida della prassi operativa tagliando fuori ogni possibilità argomentativa degli empirici, per Varchi la pertinenza degli interventi di quest'ultimi, rendeva necessaria una precisa valutazione delle loro opinioni¹². Non si tratta più, quindi, di distinguere tra vera e falsa alchimia, ma di ripensare il problema della trasmutazione nella sua interezza, non solo sul piano epistemologico ma, principalmente, su

¹⁰ Su Benedetto Varchi e gli interessi di Cosimo I dei Medici verso l'alchimia si veda [32].

¹¹ Nella sua analisi della *Theorica et practica* di Paolo di Taranto, William Newman ha messo in evidenza come nelle intenzioni dell'autore ci fosse proprio quella di distinguere tra le tecniche che rimangono all'interno di una dimensione artigianale, e le scienze applicate (medicina, agricoltura e alchimia), che intervengono sulla natura con cognizione di causa e nel rispetto dei suoi principi. Questa distinzione tra artigiani e scienziati è importante perché colloca l'alchimia tra le scienze applicate, motivando la sua appartenenza a questa categoria con una serie di evidenze sperimentali che se non sono sufficienti sul piano tecnologico per mostrare la riuscita dell'opus alchemico, lo sono sul piano sperimentale per dare una solida giustificazione, anche se non definitiva, alla teoria della trasmutazione [25, pp. 436-437], [26, pp. 27-29], [27, pp. 70-71].

¹² Il dibattito tecnico assunse una dimensione istituzionale alla fine del XVI secolo quando in città come Milano e Venezia sorsero le prime magistrature delle acque che dovevano gestire l'amministrazione e la manutenzione dei canali. Tuttavia non manca la documentazione di casi quattrocenteschi, come la figura dell'operaio delle mura della Camera del Comune di Siena, rivestita da figure di spicco dell'ingegneria rinascimentale come Francesco di Giorgio, Baldassarre Peruzzi, Paolo Biringucci e lo stesso Vannoccio. La scelta di una soluzione tecnica era sempre il risultato di una seduta collettiva dove ingegneri, imprenditori e funzionari pubblici confrontavano le proprie idee. Pensiamo al problema sorto durante la costruzione del Duomo di Milano per la realizzazione del tiburio, che vide impegnati numerosi ingegneri tra i quali Francesco di Giorgio e Leonardo da Vinci, o ai problemi di idraulica idrodinamica e idrostatica affrontati e risolti nelle opere di bonifica e regimentazione delle acque dell'area Padana, che furono teatro di accesi dibattiti tra tecnici e amministrazioni cittadine (per una ricostruzione del panorama tecnico istituzionale europeo relativo alla regimentazione delle acque nel XVI secolo si veda [14]). Lo stesso discorso può essere fatto anche per i cantieri minerari che, come mostrano le incisioni del *De re metallica* di Agricola, nella prima metà del XVI secolo vennero assumendo caratteri proto-industriali con una forte spinta verso l'automazione. Parallelamente allo sviluppo minerario furono ampliati gli arsenali delle potenze militari europee (Cfr. [23]) che, oltre a diventare centri importanti per lo sviluppo della metallurgia e della pirotecnica, costituivano luoghi di scambio e di confronto fra tecnici.

quello della prassi operativa, dove la prova empirica diventa elemento discriminante per stabilirne la verità¹³.

Il confronto tra la posizione di Varchi e quella di Biringuccio mette bene in luce lo scenario culturale degli anni trenta del Cinquecento nel quale, almeno in certi settori come la metallurgia e la mineralogia, lo studio dei fenomeni naturali non poteva più prescindere da posizioni che chiamavano in causa l'osservazione diretta della natura: da un lato l'aristotelismo scolastico, che seppure (come nel caso di Varchi) disposto a prendere in considerazione la posizione di un tecnico come Biringuccio, continua a muoversi entro le rigide categorie conoscitive tradizionali, dall'altro lato, invece, un nuovo genere di «pensatori» prendeva come riferimento per le loro elaborazioni intellettuali l'esperienza, mettendo così in luce i limiti epistemologici e le incongruenze scientifiche sia del sapere istituzionale che di quello ermetico. La risposta di Biringuccio a questo tipo di argomentazioni insiste proprio sulle differenze di grado tra possibilità e verità logica di un evento:

«Et in oltre adducano un detto della sacra scrittura in favore del lor potere intendere et operare. Dove dice: *Omnia subiecisti sub pedibus eius*, interpretandolo che Dio abbia dato potentia ed autorità, oltre al dominio di tutte le cose di questo mondo, di poter intendere ed operare tutte le cose che sonno in quello, infra le quali essendo questa della generation de metalli, vogliono che non solo la sia possibile intenderla, ma come la natura propria, con l'arte operarla; arguendo appresso l'arte un detto d'Aristotile sopra alla quadratura spherata per provar che possa essere vera a chi la niega, dove dice che anchora che geometricamente apponto la non si troui, non è però ch'ella non sia, ed essendo ancora sia possibile trovarla, e così la generation de metalli effettivamente essendo, è possibile all'arte dell'alchimia arrivarla. Et con questa e con molte altre ragioni vogliono che si creda che fuor dal ventre femminile generar e formar si possa uno homo et ogni altro animale con carne et ossa e nervi, et ancho animarlo di spirito con ogni altra convenientia che se gli ricerca. Et similmente far nascere gli arbori e l'herbe con l'arte senza il seme lor naturale. E così i frutti separati da gli arbori, dandogli le forme loro, e così li colori, gli odori e sapori come li veri naturali, a li quali mancar non posso di non dir che non gliel credo»¹⁴.

La tensione tra tecnologia e alchimia è presente in maniera costante in tutta l'opera di Biringuccio al punto che gli alchimisti diventeranno i suoi principali interlocutori. In modo particolare nei capitoli dedicati alla mineralogia e metallurgia dell'oro e alle tecniche di distillazione, questa tensione si traduce in precise prese di posizioni che mostrano come egli fosse a conoscenza delle tematiche principali che avevano caratterizzato il dibattito sull'alchimia a partire dal XIII secolo, compresi

¹³ Robert Halleux ha sottolineato come, la prova docimastica costituisca un punto di contatto tra i saggiatori dei metalli e gli alchimisti e, a questo proposito, ha sollevato il quesito se la prova empirica possa essere presa come l'elemento di svolta che spinse gli alchimisti ad abbandonare il problema della trasmutazione metallica in favore di questioni di carattere spirituale nelle quali la prova empirica non aveva valore [20, p. 211].

¹⁴ [7, c. 8r].

anche gli sviluppi successivi di orientamento medico-spiritualista, entrando nel merito della validità di concetti come quello di elisir, di oro potabile e quintessenza¹⁵.

Per comprendere la posizione di Biringuccio nei confronti dell'alchimia è opportuno partire dalla sua teoria della conoscenza e dal suo concetto di arte, che presentano elementi di ambiguità.

Per Biringuccio, la conoscenza della natura progredisce indefinitamente verso una comprensione sempre più profonda dei meccanismi dei fenomeni naturali attraverso la continua acquisizione di nuovi fatti¹⁶.

«Et l'ho fatto volontieri (l'aver fornito il maggior numero di informazioni possibili, anche di tipo fantastico, su l'argomento oggetto di studio), perché acquistiate tanto più di sapere, per esser io certo, che le notitie nuoue sempre parturischano inuentione nuoue nelli intelletti e nuoue notitie. Anzi so certo che le son le chiaui di far resuscitar gl'ingegni, e da fargli (volendo) arriuare a certi luochi, che senza il fondamento d'esse, non che arriuasero ai termini che arriuanò, pur appresso et accostar non si potesseno»¹⁷.

Allo stesso tempo però, questa fiducia nel controllo progressivo delle forze della natura che Biringuccio esalta in più di un'occasione – ad esempio in relazione alla scoperta della polvere da sparo e dell'invenzione delle bombarde¹⁸ – viene neutralizzata da una definizione di arte che si mostra in linea con i canoni epistemologici medievali sviluppati nella tradizione scolastica, come ad esempio nel *Didascalicon* di Ugo di S. Vittore, nella quale si dava una subordinazione netta tra arte e natura che rifletteva l'idea di una differenza di tipo ontologico tra il modo di operare della natura e quello dell'uomo: la natura produce modificazioni essenziali mentre quelle dell'arte sono superficiali ed apparenti¹⁹.

¹⁵ «Et questa tal lor opera, hor la chiamano quinta essentie, et hor Lapis filosoforum, et hor l'oro potabile, col quale se offeriscano ad ogni effetto la quinta essentia alla natura e poter di cieli e del e più potenti stelle, lo oro potabile allo spirito et anima delle cose, e 'l lapis al poter de la magna natura. Ma con tutto questo que padri de l'arte e che ne furono inventori e che con tante lodi la esaltorno, son tutti morti, e non pur una non che due o tre gioventù, hanno goduto, e come promettano non so che siano anchor resuscitati» [7, c. 6v].

¹⁶ L'idea che la conoscenza si caratterizzi come un sapere di tipo progressista era ampiamente diffusa tra i tecnici rinascimentali [38, pp. 96-122].

¹⁷ [7, c. 1v].

¹⁸ [7, cc. 152v, 157v].

¹⁹ Nell'accezione di Ugo di San Vittore le arti meccaniche sono *figlie adulterine* della natura, e quindi forniscono una conoscenza approssimativa, non essenziale e tesa alla falsificazione. Per autori come Ugo di San Vittore, Gundisalvi e Bonaventura la classificazione dei saperi restava fortemente determinata dalla convinzione di origine platonico-agostiniana che la conoscenza fosse organizzata secondo una gerarchia piramidale che vede nel posto più alto la teologia, seguita dalla filosofia, che studia le entità astratte (numeri, linee e piani), e infine lo studio e la manipolazione delle cose materiali. La situazione resterà sostanzialmente invariata anche dopo l'intervento di Ruggero Bacon, per il quale, pur sottolineando con enfasi il valore conoscitivo della scienza sperimentale, dimensione teorica e pratica continuarono a rimanere separate e subordinate [3, pp. 7-9], [35, pp. 139-147], [31, pp. 90-105], [25, p. 424].

«E in somma, [dice Biringuccio] pigliando tutti li fundamenti alchimici e da fronte mettendo l'ordine de la natura, e ponderando il proceder dell'una e il proceder dell'altra non mi par che habbin proportione nelle lor possanze. Atteso che la natura proceda ne le cose intrinsecamente, e che con ogni sua radical sustantia passi tutta nel tutto. Et l'arte, debilissima rispetto a essa, la segue per veder de imitarla, ma va per vie esteriori e superficiali difficilissima sinno impossibili a penetrar ne le cose»²⁰.

Questa tensione tra prodotti artificiali e naturali, che costituiva uno degli argomenti centrali anche della *Quaestio de alchimia*²¹, accompagna tutta l'opera di Biringuccio: da un lato i fallimenti degli alchimisti confermano i limiti operativi dell'arte e ribadiscono la superiorità dei prodotti naturali, da un altro lato, invece, il progresso tecnologico che scaturiva dalla stessa alchimia sembra colmare lo scarto esistente tra naturale e artificiale portando ad una comprensione sempre più approfondita della natura. Anche se Biringuccio non arriverà a porre l'uguaglianza tra prodotti artificiali e naturali, nelle analisi delle sostanze minerali afferma che, ad esempio, la borace può essere sia naturale che artificiale²², oppure, come nel caso della polvere da sparo, arriverà ad asserire che l'uomo si è spinto oltre la natura riuscendo a riprodurre e controllare la potenza del tuono e del fulmine²³. In questa prospettiva epistemologica, nella quale il progresso del sapere naturalistico e tecnologico dipende dalla codifica di nuovi fatti e nuove invenzioni, le critiche di Biringuccio all'alchimia possono essere viste come un tentativo di ridefinire le possibilità del conoscere dell'uomo a partire dall'interazione diretta con i fenomeni naturali²⁴.

²⁰ [7, c. 5v].

²¹ Cfr. [30, p. 215-286], [27, pp. 63-82].

²² «La borace è di due sorte, cioè la naturale e l'artificiale, la naturale è una pietra lucida fusibile di forma simile al zucar candi, ouer sal gemmo [...] L'artificiale si fa d'alume di roccha e di sale armoniacho, e l'una e l'altra spezie ha proprietà di facilitare la fusion de metalli» [7, c. 38r].

²³ «Questi sempre non sol scuoteno, ma operano e ruinano, effetto certo mirabilissimo atto quasi da non il comprehendere, e se la sperientia non il mostrasse da non il potere appena credere, che direbbe mai che li monti cosa si tanta durezza aprendo facilmente li ventri loro, agli huomini cedessero come ancho si non chil vedesse non direbbe che gli huomini hauessero modo a posta loro di ministrare gli spauentosi e noceuoli fulguri, quali sonno di sorte che ancora che sieno fatti da loro remediare contra quelli, anchora fanno come anchora nelli monti di durissimi sassi composti nelle artificiose strutture sicure dalla malignità di questa polvere chiamar si possono» [7, c. 157v].

²⁴ Questo atteggiamento revisionista nei confronti del sapere costituito era stato uno dei principali rinnovamenti portati dal movimento umanista, che nel recupero delle opere scientifiche e tecnologiche degli antichi si interrogava anche sulla loro congruenza col piano reale. Lo studio dei libri antichi rimandava allo studio del libro della natura e da questo confronto sorgevano inevitabilmente delle incongruenze che imponevano di riconsiderare il problema sotto un'altra prospettiva. Un esempio di questo recupero critico della scienza antica è rappresentato dalle discussioni scaturite intorno alla *Historia naturale* di Plinio il Vecchio la quale suscitò numerosi interventi critici che miravano a denunciare gli errori, tra i quali i più celebri sono il *De plinii et plurium aliorum in medicina erroribus* (1492) di Niccolò Leoniceo e le *Castigationes pliniane* (1492-93) di Ermolao Barbaro [6, p. 104].

Questo atteggiamento revisionista nei confronti dell'alchimia emerge già dal passo con cui Biringuccio apre la sua confutazione della trasmutazione.

«Salvo però se non ci fusse qualche filosofo operante che con l'arte sua, come vogliono li curiosi e sottili speculatori, ne facesse qualche copiosa quantità che li loro libri, più presto di ricettari non intesi, che di filosofi, alle lor credentie promettano, che a pensar di ciò certamente mi ci tira più l'autorità d'alcuni che potenti ragioni, ch'io n'abbi mai inteso»²⁵.

Il riferimento in inciso alla contrapposizione tra ricettari non intesi e filosofia stabilisce immediatamente i termini del discorso individuando la causa delle credenze degli alchimisti, non tanto nella filosofia, ma nella pratica. Il problema, infatti, non sta nel concetto di trasmutazione di specie, che sul piano filosofico è perfettamente legittimo e trova una conferma nella molteplicità delle specie naturali che si generano tutte a partire dai quattro elementi aristotelici, ma nel credere possibile che questa trasmutazione sia riproducibile artificialmente. Per Biringuccio, che fa proprie le tesi dell'ormai tradizionale *monito contro gli alchimisti* presentate per la prima volta del medico persiano Avicenna e riprese successivamente da coloro che sono intervenuti nel dibattito sull'alchimia, non esistono argomentazioni plausibili per sostenere la validità di questa disciplina²⁶. Sul piano teorico, ad esempio, Biringuccio considera i principi dello zolfo e del mercurio, sui quali si basava la teoria dei metalli che i latini avevano ereditato dagli arabi, come superflui. A suo modo di vedere, infatti, non è necessario presupporre l'esistenza di sostanze intermedie tra i quattro elementi aristotelici e i metalli perché ciò porterebbe ad una spiegazione più artificiosa del processo di generazione naturale di queste sostanze²⁷.

²⁵ [7, c. 5r].

²⁶ Nel monito contro gli alchimisti (Sciant artifices alchimiae species metallorum trasmutari non posse) sono indicate una serie di argomenti contro la trasmutazione presentati per la prima volta nel *De congelatione et conglutinatione lapidum* del medico arabo Ibn Sina, (Avicenna). In quest'opera il medico arabo si opponeva in maniera radicale alla trasmutazione ribadendo alcuni concetti chiave che saranno alla base delle discussioni successive come: 1) la subordinazione dei prodotti artificiali a quelli naturali; 2) l'impossibilità, per l'uomo, di conoscere le dinamiche con cui le «specie» naturali intervengono nei processi di generazione; 3) la possibilità per l'arte di intervenire soltanto nella manipolazione delle qualità secondarie delle sostanze; 4) l'idea che ogni metallo sia composto a partire da costituenti originari attraverso i quali deve passare ogni tentativo di trasmutazione di specie [2]. Come ha efficacemente espresso Robert Halleaux, questo monito contro gli alchimisti, rimarrà «nell'alchimia scolastica come un verme nel frutto», ritornando costantemente in tutti i tentativi di giustificazione e di confutazione della trasmutazione [21, p. 8]. Cfr. anche [20, p. 197-211], [27, pp. 37-43].

²⁷ La teoria dei metalli che i latini avevano mutuato dagli arabi presupponeva l'esistenza di due sostanze intermedie, lo zolfo e il mercurio, tra la dimensione elementare e quella del metallo, con le quali spiegare le caratteristiche dei metalli come una classe di sostanze specifica distinta dalle altre varietà di prodotti minerali (Cfr. [25, pp. 431-432], [26, pp. 17-20], [11, pp. 16-18]). Biringuccio rifiuta la teoria zolfo-mercurio sia sul piano empirico che su quello teorico: «Quello che v'ho già detto del argento viuo, contra a l'opinion de li philosophi alchimici ne la generation

Sul piano tecnologico Biringuccio mette in evidenza la vanità e i limiti operativi degli alchimisti sottolineando come i loro processi siano guidati dal caso senza essere commisurati con il fine preposto²⁸. L'incapacità di mostrare la congruenza tra teoria e prassi operativa degli alchimisti porta Biringuccio a porre con fermezza la questione della nomenclatura come uno dei punti principali da risolvere prima di iniziare qualsiasi tentativo di spiegazione di un processo tecnologico, perché chi non commisura il dire con il fare si perde in promesse di cose incomprensibili e vane²⁹. I problemi di carattere semantico emergono in tutta la loro potenzialità rinnovatrice nella letteratura della tradizione mineraria e metallurgica³⁰. I metallieri si

di metalli il medesimo vi replico di questo, perché non credo che nisun dessi propriamente v'interuenga si non in sostanze simili elementali, e questo mel fa dire il veder in nisuna cava di metallo, ne ancho li appresso miniera né di solfo né di mercurio vi si trova. Anzi pur hora sopra adciò pensando m'apparisce un altro dubio da risoluere, quale è come il caldo el freddo, l'humido el seccho, possino apponto in un medesimo luocho in uno istante generarsi, e generati unirsi a tal forte mistione, che quasi l'un si conuerti ne l'altro, come dicano esser necessario che interuenga del mercurio e del solfo quando si generano li metalli» [7, c. 26r].

²⁸ «perché non cognosco nè credo che anchor si sappino li veri mezzi da edificare li loro principii, vedendo quelli che tale arte [l'alchimia] per verissima credeno, variamente pigliarli [...]. O di quanti alchimisti mi ricordo d'hauere udito lamentationi per hauer, chi sparso per sinistro caso tutta la sua compositione infra la ceneri, e che per l'essere stato ingannato dal troppo fuoco, perché se gli erano le sustantie de suoi material bruciate, e chi per essergli per inavvertentia esalati gli spiriti, e chi per aver avuti tristi e debili materiali. Et per concludere al fine, non vedendone altro, dubito che le speranze de le lor fabulose scritture siano ombre di maschere composte da certi Romiti Herbolari per darsi credito, over da altra ragione otiosa, o pur da certi miserrimi alchimisti per cundur li cupidi in tanta credentia che ne le necessità loro gli habbino da soccorrere. Et per dare autorità a que loro recettari gli intitulano col nome di tale autore che non solo che gli scrivesse, non pensò forse mai sopra a tale materia». [7, c. 7v].

²⁹ [7, *prohemio*, IV]. La polemica con gli alchimisti posta nei termini della congruenza tra le operazioni descritte verbalmente e la realtà effettiva dei processi operativi, era già stata avanzata, prima di Biringuccio, anche da Leonardo da Vinci, il quale, si era riferito agli alchimisti assimilandoli ai negromanti: «delli discorsi umani stoltissimo è da essere riputato quello il qual s'astende alla credulità della negromantia, sorella dell'alchimia», per poi precisare che la negromanzia «non partorisce alcuna cosa simile a sé, cioè bugia», mentre l'alchimia è la ministratrice dei semplici prodotti dalla natura «il quale ufizio fatto esser non può da essa natura, perché in lei non sono strumenti organici con li quali essa possa operare quel che adopera l'uomo mediante le mani». Leonardo, come poi Biringuccio, vede nell'alchimia un'arte legittima fin tanto che si occupa della manipolazione delle sostanze per la produzione di composti artificiali, mentre rifiuta la pretesa della negromanzia di andare oltre le capacità operative dell'uomo e in modo particolare deplora la sua pretesa di legittimare la propria opera con «l'abbaimento d'infiniti effetti di tale arte»; in modo particolare la compilazione di libri nei quali si fa uso di incantesimi e spiriti accusandoli di parlare senza «strumenti organici», cioè senza il sostegno della codificazione sul piano empirico [22, cc., 49r-v (19048r-v)].

³⁰ In Biringuccio, così come in Leonardo, il problema linguistico emerge in relazione alle esposizioni oscure e approssimative degli alchimisti, senza mai pervenire ad un programma sistematico di revisione lessicale. Questa esigenza sarà sentita come essenziale dal medico umanista Giorgio Agricola il quale, prima di impegnarsi nella stesura dei suoi trattati di mineralogia (*De natura fos-*

occupavano delle stesse problematiche tecniche degli alchimisti con finalità e linguaggi diversi. In questo contesto culturale la frattura fu pressoché totale perché uno sviluppo tecnologico in chiave industriale dell'arte dei metalli richiedeva un'organizzazione collettiva che andasse oltre l'isolamento e il segretismo dei metodi degli alchimisti; quindi, per quanto i distretti minerari fossero centri floridi anche per gli alchimisti, a partire dal XVI secolo, la tecnologia dei metalli si sviluppa autonomamente e in contrapposizione all'alchimia. Biringuccio rivendica con decisione l'autonomia delle «arti del fuoco» chiamando gli alchimisti a confrontarsi pubblicamente e a mostrare i mezzi e gli effetti delle loro speculazioni, invitandoli a mostrare le «ragion aperte dell'arte loro. Et così di poi la chiarezza di tanto nobile e fruttuosa arte, è da tutti li buoni ingegni intesa, verranno ad operare et a fare dell'oro in grandissima copia...»³¹.

Oltre che sul piano teorico e su quello tecnico, Biringuccio critica gli alchimisti anche sulla condotta morale e sul piano teologico perché non mettono a disposizione le loro conoscenze per il benessere pubblico, perché sono dei falsari e perché ricorrono all'invocazione dei demoni pur di portare a compimento il loro fine³², riproponendo così un argomento sviluppato nella tradizione scolastica a partire dagli interventi sull'alchimia di Tommaso d'Aquino e Egidio Romano³³, che aveva portato all'e-

silium libri X e De ortu et causis subterraneorum libri V) e metallurgia (*De re metallica*), si dedica ad un'accurata esplorazione filologica delle fonti antiche sui metalli e i minerali al fine di codificare una nomenclatura chiara e univoca. Il *Bermannus* e il *De mensuris et ponderibus*, che Agricola pubblica rispettivamente nel 1530 e nel 1542, sono opere di carattere filologico dalle quali emerge chiaramente il modo in cui un'umanista poteva intervenire in maniera pertinente su questioni di filosofia naturale e come la filologia costituisca uno strumento che oltre a permettere la piena comprensione di un'opera scritta, è anche un mezzo per appropriarsi della conoscenza del mondo naturale degli antichi. Cfr. [9, p. 115], [4, p. 198], [12, pp. 64-65].

³¹ [7, cc. 8r e v].

³² «ma apena un solo, anchor che alcuni sono che per cognoscer tal difficultà dicano a tali effetti adoperarsi la nigromantia, qual per tenerla io in cosa fabulosa, e per non ne haver notitia quel che la sia, laudar né biasimare non la intendo, che pur quando fusse vero quel che dicano che fanno, sarebbe certo un util effetto. Ma vorrei che mi dicessero questi nigromanti la miniera perché ancho non adoprano detta loro arte di poi che han trovata a far con essa come il principio, il mezzo e 'l fine, cauandola e reducendola a le fusioni et a la purità de le separation sue, che senza dubio havendo potentia di far una de le predette cose, si può creder che anchora abbino potentia di far l'altra. [...] Ma tanto più con ragioni si de credere che in questo atto d'operar tal cosa si lasci quanto nei principii di cavar le miniere sempre si costuma di ricercar Dio de la sua gratia, acciò che intervenga in aiuto de la dubbia e fatigosa opera loro, dove in scambio di essa verrebbero ricercar quella dei demonii de lo inferno. E per mio parere, lassando quella via de gli homini bestiali e intrepidi, vi conforto per volerle trovar, noi pigliare questa de la pratica dei segnali portici da la benignità de la natura, e sopra la verità fondati, e quella che da tutti li pratici per la sperientia approvata, quale (come si vede) non consiste in parole, o in promesse di cose incomprendibili e vane» [7, *phoemio*, IV].

³³ Il problema della legittimità delle pratiche alchemiche coinvolse numerosi giuristi che, specialmente a partire dal XIV secolo, nei loro interventi sembrano particolarmente interessati a chia-

manazione della bolla papale *Spondent quas non exhibent*, decretata da Giovanni XXII nella quale si condannavano gli alchimisti perché fautori di vane promesse³⁴.

Chi si pone il problema con atteggiamento filosofico, secondo esperienza e ragione, si rende conto immediatamente che il fine degli alchimisti è una «volontà vana», e a niente valgono argomentazioni che si nascondono dietro i nomi altisonanti di qualche autorità filosofica, se non trovano corrispondenza in un processo operativo scandito in ogni sua fase in maniera quantitativa. Una volta posti questi vincoli epistemologici Biringuccio propone la tradizionale distinzione tra alchimia sofistica e alchimia filosofica con la quale gli alchimisti medievali come Paolo di Taranto, Bartolomeo Anglico e Pietro Bono da Ferrara salvavano la validità dell'alchimia³⁵, con la differenza sostanziale, però, che Biringuccio resta un'antitrasmutazionista e non riconosce nessun grado di verità a questa disciplina, mostrandosi disposto ad accettare soltanto lo spirito di ricerca che anima gli alchimisti, senza concedere niente a teorie e pratiche che non trovino un riscontro empirico.

«però solo vi dirò hora perché più sapiate che quelli operanti che ansiosamente drieto cerchando la vanno, caminano sol per due vie, e l'una è quella che piglia la sua luce dalle parole delli sapienti philosophi col mezzo delle quali pensano arriuarla, e questa chiamano via giusta santa e buona. Dicendo che in questa loro altri non sono che imitatori e coadiutori della natura, anzi operanti e veri medici de corpi minerali purgandoli dalle superfluità e soccorrendoli con l'aggiognarlo virtù e liberarli dalli defetti loro, e per questo hor procedeno in corrumpere tal corpi per potere separare li elementi che contengano per redurli possendo come dicano nelle prime materie, e hora con reconvertigli col mezzo di tal arte in nuove sustantie, e con renderlo anchora altro spirito che non era il primo. [...] L'altra via, che è da questa molto lontana, ma pur par che sia nata in essa, ma se l'è sorella o figlia adulterina, chiamasi sophistica violente e non naturale, li vitiosi e pratici della fraude la costumano da esercitare, è arte sol fondata in apparentia e falsità la quale con vari mescolamenti venenosi corrompe le sustantie de corpi metallici e li trasforma tanto che facilmente li fa parere in primo aspetto quelli che non sonno, ha forza de ingannare molte volte il iudicio e lo aspetto del luocho, e a chi ciò ha fatto par bella, ma di poi tanto di più ad essi e a ogni altro dispiace quanto vedeno che le veste sue li caschano e scoperta in lei altro non si comprende che vitio, fraude, danno, timore, e vergogna infamia»³⁶.

rire tre temi: la legittimità e la pretesa per cui l'arte sarebbe in grado di imitare la natura, la connessione dell'alchimia con pratiche magiche proibite e la necessità che il potere politico controlli attentamente l'attività degli alchimisti che con i loro prodotti potevano influenzare l'andamento monetario. Cfr. [11, pp. 241-242].

³⁴ Nella bolla si sottolineava il carattere fraudolento della produzione dell'oro alchemico: «Promettano i disgraziati alchimisti, ricchezze che poi non sono in grado di produrre [...] cadono nella fossa che si sono scavati con le loro mani ... sui prendono gioco l'uno dell'altro [...] danno fondo alle loro sostanze [...] dissimulano con parole la loro falsità [...] coniano i caratteri ai garantiti metalli della moneta pubblica per occhi troppo fiduciosi e non altrimenti che col fuoco alchemico della fornace ingannano il volgo ignorante» [33, p. 173], per la traduzione del testo integrale della bolla. Cfr. [11, pp. 249-250].

³⁵ Cfr. [26, pp. 28-29], [34, pp. 33-34].

³⁶ [7, cc. 123r e v].

In questa prospettiva, quindi, la ragione diventa il contraltare dell'autorità e sarà proprio cercando di definire il dominio empirico e teorico delle «potenti ragioni» che guidano l'ingegno nella comprensione dei mutamenti delle sostanze, che Biringuccio recupera l'alchimia come una disciplina capace di produrre conoscenza.

«Niente di mancho anchor che di questa arte fusse il suo fine, nullo come molti credeno e cosa invero tanto ingeniosa e alli speculatori delle cose naturali tanto dilettevole che quasi vogli tempo e fadiga o spesa di non vi mettere abstinere non si possano, oltre la dolcezza che lo porge la speranza del hauere a possedere un di il fin riccho che tal arte tanto largamente promette, è certamente tal cosa uno esercizio bello, perché questa ogni giorno parturisse nuoui e bellissimoi effetti oltre al essere molto utile all'uso e commodità umana come sonno le estrationi di sustantie medicinali e delli colori e delli odori e d'infinita compostioni di cose, per il che molte arti si cognosce essere uscite puramente d'essa e suo mezzo si non per reuelatione diuina impossibile saria stato che mai alli homini scoperto si fussero. Tal che insomma per concludere si può dire essere questa arte di molte altre arti origine e conditrice, e però si deue hauere in reverentia e esercitarla, ma ben deue chi la esercita non essere ignorante delle cause né delli effetti naturali, né pouero per possere resistere alle spese, né ancho la deue fare per auaritia, ma per godere solo li bei frutti delli effetti suoi e loro cognitione e quella vaga nouità che operando dimostra»³⁷.

Recuperando un *topos* caratteristico di quella tradizione di filosofi scolastici che fa capo a Alberto Magno, Ruggero Bacon, Paolo di Taranto e Pietro Bono³⁸, Biringuccio si rivolge all'alchimia come un'attività conoscitiva legittima che trova il proprio fondamento nella coerenza tra sperimentazione e riflessione filosofica. Gli alchimisti da condannare sono infatti soltanto i negromanti che procedono per incantesimi e i sofisticati che non commisurano le loro teorie con la prassi operativa. Coloro che invece si rivolgono alla natura con atteggiamento filosofico, cioè «senza essere ignorante delle cause ne delli effetti naturali», possono dedicarsi alla ricerca della trasmutazione perché a prescindere dalla validità del fine «questa arte è un esercizio bello» e «ogni giorno partorisce nuovi e bellissimoi effetti» che sono utili all'uso e alla comodità umana. Si tratta di un salto epistemologico enorme perché l'alchimia oltre alla dimensione utilitaristica, che aveva spinto alcuni principi europei a vedere in quest'arte una strada per risolvere i problemi finanziari delle proprie corti³⁹, è vista anche come un'attività conoscitrice da esercitare in maniera disinteressata dalla quale, oltre che il progresso tecnologico, dipende anche il progresso della nostra conoscenza sulla natura.

Così, nella prospettiva aperta dall'alchimia filosofica, pur mantenendo in maniera ferma la sua chiusura nei confronti delle teorie e delle pratiche trasmutatorie che si presentano come saperi incontrollati, Biringuccio cerca di recuperare

³⁷ *Ibid.*

³⁸ Cfr. [27, p. 63-76] [31, p. 92-94].

³⁹ Cfr. [28, pp. 209-212], [33, p. 130], [32, p. 96], [29, pp. 173-80].

gli aspetti euristici dell'alchimia riconducendone le origini nell'impulso primordiale degli uomini a progredire imitando la natura. Per questo motivo egli ricorre all'utilizzo di un argomento di origine vitruviana già recuperato nel Rinascimento da Leon Battista Alberti nel *De re aedificatoria*⁴⁰ e da Francesco di Giorgio Martini nel *Trattato di Architettura*⁴¹, per mostrare le origini antiche e quindi la dignità delle loro discipline.

«Per il che vi dico che avete da sapere come tutte l'arti che li huomini al mondo esercitano, o l'han comprese da principi di ragionevoli demonstrationi naturali, o d'effetti d'animali, o a caso, ovvero costreti da qualche necessità o pur da propri precettori, tal che per un de modi detti e per concludere nisuna cosa sapremo se da altri compresa non l'hauessimo, e questo vi ridico per credere così, e che sia vero che ve ricordiate di quel che già parlando vi dissi che per coniectura vera si trouaua che que nostri originali padri antichi auanti che suegiassero l'intelletti loro e di rozziati gli vestissero di buon iudicio, e che per guida hauessero l'arte, andavano per le selve vagando niudi come gli altri animali brutti, e così le loro habitationi altro non erano che rami fogliosi e scorze d'arbori, spelunche sutterrane, o massi di pietre dalla natura cavate, o altri simili coprimenti, li quali per non essere basteuoli difensioni alle molte offese che riceuano si da l'asprezza de tempi come delle ferocità delli animali cominciorno insegnatolo dalle necessità e dal timore a fabbricare capanne di terra e schegge d'arbori e fortificarle a torno di pietre e bene serrarle, e così con la sicurtà insieme cominciorno a godere anchora la commodità, la quale non molto di poi lo de occasione a pensare di volerui accorre la superfluità e la pompa stimulatì credo da quel natural desiderio di insatiabilità del volere sempre più di quel che s'ha e di non mai contentarci di quel che habbiamo, e si determinorno di volere farle loro habitationi maggiori con altre forme e perpetue si poteuano e non più capanne, ma case, palazzi, castelli e grandissime città. Per il che furono costretti a pensare come e di che fare le potessero»⁴².

Biringuccio, a differenza di Alberti e Francesco di Giorgio, entra nel merito delle modalità conoscitive dell'intelletto umano mostrando come la storia dell'umanità sia segnata oltre che dalle continue invenzioni anche da un progresso psicologico dell'uomo che lo ha portato a sviluppare bisogni sempre più complessi. Queste necessità hanno costretto l'uomo a pensare, così, da una condizione di estrema povertà materiale ed intellettuale, ove si cercava soltanto di risolvere i problemi per il proprio sostentamento, egli è progredito fino allo stato attuale. In questo passo emerge chiaramente l'idea che l'approccio alla natura sviluppato nel pensiero dei tecnici sia quello più adeguato per lo studio dei fenomeni naturali. L'uomo, infatti, apprende attraverso le dimostrazioni naturali, osservando il comportamento degli animali, a caso, costretto per necessità o dietro l'insegnamento dei precettori; Biringuccio non opera più nessuna distinzione tra conoscenza scien-

⁴⁰ [1, pp. 20-24].

⁴¹ [15, p. 373].

⁴² [7, c. 146v].

tifica e tecnica: conoscere dai libri o conoscere direttamente dalla natura sono due fasi dello stesso processo. Un particolare curioso di queste modalità del conoscere è la specificazione dell'apprendimento attraverso l'osservazione degli «effetti d'animali». Questa modalità, così come le dimostrazioni naturali, non trova riscontro nella letteratura del periodo se non in Leonardo da Vinci, il quale fu il primo tra gli ingegneri che fece dell'osservazione della natura un precetto metodologico.

Biringuccio come Leonardo da Vinci considera l'imitazione della natura, cioè lo studio diretto dei fenomeni naturali basato su osservazioni e prove empiriche, come l'unica possibilità per giungere alla completa cognizione delle cose. Continuando a sviluppare l'argomento vitruviano Biringuccio sottolinea come l'attività del conoscere si espleti nella riproduzione artificiale di un processo naturale.

«Per il che nel pensiero voltati a risguardare fra le cose naturali s'alcuna ne discernessero che lo desse luce imitandola di potere peruenire a l'intento loro, e vedendo le pietre e la loro durezza cominciorono sopra esse a pensare se per qualche modo mollificar le potessero e a esaminare l'arte della natura come tal cosa facesse persuadendosi che se loro ancor pigliassero di quelle cose che essa pigliaua farebbero col tempo e con l'arte loro el medesimo»⁴³.

L'arte apprende per imitazione della natura, è osservando e operando direttamente nella natura che si perviene alla cognizione delle cose; in questa prospettiva il conoscere si identifica con il fare. Gli uomini primitivi giunsero alla scoperta dei mattoni e della calcina cercando di riprodurre artificialmente le pietre, ma vista l'impossibilità di realizzare una trasmutazione su larga scala che supplisse alle esigenze dell'edilizia decisero di dedicarsi ai metalli poiché il loro valore intrinseco rendeva l'operazione auspicabile anche per le piccole quantità:

«Al che forse quei tali cognoscendo la impossibilità si disperono, o forse perché viddeno che fare non si poteua senza gli spatii di longo tempo. Per il che misurando la breuità della vita humana s'abbandonorno, e in scambio di tale via non senza apparentia di ragione entrorno in quella che hoggi per la via de metalli caminano nella produzione de l'oro e de l'argento gli alchimisti»⁴⁴.

Questo recupero dell'argomento vitruviano sull'antichità e la dignità dell'architettura in un'opera sull'arte dei metalli, mostra chiaramente il contesto culturale a partire dal quale Biringuccio si rivolge alle arti del fuoco che è appunto quello della tradizione degli artisti ingegneri italiani del XV secolo per i quali il testo di Vitruvio costituiva un canone per la loro qualificazione professionale⁴⁵.

Innestata nella tradizione dell'architettura, anche l'alchimia poteva godere del credito che questa disciplina e i suoi cultori moderni avevano sia a livello sociale

⁴³ *Id.*, c. 147r.

⁴⁴ *Ibid.*

⁴⁵ Cfr. [36, pp. 13-71], [17, p. 16]. Per il legame di Biringuccio con la tradizione degli artisti ingegneri si veda: [8], [5, pp. 93-100].

che culturale. Su questa base la caratterizzazione magico misterica che quest'arte preservava nel XV secolo poteva essere vista come il frutto di apporti successivi; in questa prospettiva si trattava di riscoprirne le origini e mostrarne la compatibilità con le capacità operative e razionali dell'uomo. L'aver ricondotto le origini dell'alchimia in un contesto razionale, permetteva a Biringuccio di recuperarne la dimensione filosofica.

In conclusione, quindi, Biringuccio distingue fermamente tra il metodo conoscitivo dell'alchimia filosofica e quello dei maghi, dei negromanti e degli alchimisti sofisticati, finendo per fornire una nuova immagine dell'alchimista molto vicina a quella dello scienziato naturalista che, inseguendo il fine altrettanto utopico di una comprensione totalizzante della natura, compie esperimenti ed effettua osservazioni, facendo progredire la nostra conoscenza attraverso una successione indefinita di risultati intermedi.

La revisione di Biringuccio del sapere alchemico, non giunge, quindi, a porre una cesura netta tra pirotechnia e alchimia; per l'ingegnere senese, nella misura in cui si usano gli stessi strumenti concettuali e la stessa prassi operativa, in altre parole se si interpreta *l'opus alchemico* come un processo che deve essere rigidamente quantificato sul piano operativo, non si pone tra queste due discipline nessuna soluzione di continuità. Ma anzi, la pirotechnia stessa può essere interpretata come un'alchimia «normalizzata», vale a dire una disciplina ingegneristica che trova il proprio fondamento in una teoria generale della materia e in prassi operative rigidamente codificate al pari di discipline tecniche come l'architettura, l'idraulica e la meccanica che, durante il XV secolo, erano state oggetto di notevoli sviluppi sul piano teorico che costituiscono i modelli ai quali Biringuccio cerca di uniformare le arti del fuoco.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Alberti, *De re aedificatoria*, testo latino e traduzione a cura di Giovanni Orlandi; introduzione e note di Paolo Portoghesi, Milano, Il Polifilo, 1966.
- [2] Avicenna, *Avicennae de Congelatione et conglutinatione Lapidum*, HOLMYARD E.J. (ed.), Parigi 1927.
- [3] Beaujouan G., *L'interdépendance entre la science scolastique et les techniques utilitaires: XIIIe, XIIIe et XIV Siècles*, Alençon: Alençonnaise, 1957.
- [4] Beretta, M., *Stampa, incisioni e terminologia del De re metallica di Agricola*, in Galuzzi M., Micheli G., Monti M.T., (ed.) *Le forme della comunicazione scientifica*, Milano, Franco Angeli, 1998, pp. 191-215.
- [5] Bernardoni A., *Il De la pyrotechnia di Vannoccio Biringuccio e la (ri)nascita dell'ingegneria del fuoco*, Tesi di dottorato in Storia della Scienza, XVIII ciclo, Università di Firenze, 2005.
- [6] Bianchi L., *La nascita dell'Umanesimo e gli inizi del Rinascimento*, in Vasoli, C. (ed.), *Le filosofie del Rinascimento*, Milano, Mondadori, 2002.
- [7] Biringuccio V., *De la pyrotechnia, 1540*, Carugo A., (ed.), Milano, Il Polifilo, 1977.
- [8] Chironi G., *Cultura tecnica e gruppo dirigente: la famiglia Vannocci Biringucci*, in Tognarini I. (ed.) *Una tradizione senese. Dalla Pyrotechnia di Vannoccio Biringucci al museo del mercurio*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, pp. 99-130.
- [9] Clericuzio A., *Agricola e Paracelso: mineralogia e iatrochimica nel Rinascimento*, in «Nuova Civiltà delle Macchine», A. 12, n. 2-3 (1994), pp. 113-121.
- [10] Crisciani C., *La «quaestio de alchimia» fra Duecento e Trecento*, in «Medioevo, rivista di storia della filosofia medievale», Editrice Anteriore, Padova, II, 1976, pp. 119-165.
- [11] Crisciani C., Pereira M., *L'arte del sole e della luna. Alchimia e filosofia nel medioevo*, Spoleto, Centro italiano di studi sull'alto medioevo, 1996.
- [12] Déprez Masson, M.C., *Technique, mot et Image. Le De re metallica d'Agricola*, Turnhout, Brepols, 2006.
- [13] Eamon W., *Court, Academy, and Printing House: Patronage and Scientific Careers in Late Renaissance Italy*, in Bruce T. Moran (ed.), *Patronage and Institutions: science, technology and medicine at the European court: 1500-1750*, Rochester, The Bodydell Press, 1991, pp. 25-50.
- [14] Fiocca A., Lamberini D., Maffioli C., (ed.), *Arte e scienza delle acque nel Rinascimento*, Bologna, Marsilio, 2004.
- [15] Francesco di Giorgio, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*, Maltese C. (ed), Milano, Il polifilo, 1967.
- [16] Galluzzi P., *Leonardo da Vinci scienza e invenzioni della natura*, in «Nuova civiltà delle macchine», (1990), A.8, n. 2-3, pp. 75-86.
- [17] Galluzzi P., *Prima di Leonardo*, Milano, Electa, 1991.
- [18] Galluzzi P., *Gli ingegneri del Rinascimento, da Brunelleschi a Leonardo da Vinci*, Firenze, Giunti, 1996.
- [19] Gille B., *Leonardo e gli ingegneri del Rinascimento*, Milano, Feltrinelli, 1972.
- [20] Halleaux, R., *L'alchimiste et l'essayeur*, in C. Meinel (ed.) *Die Alchemie in der europäischen Kultur- und Wissenschaftsgeschichte*, Wiesbaden, O. Harrassowitz, 1986, pp. 197-211.
- [21] Halleaux R., *L'alchimie au temps de Frédéric II de Hohenstaufen*, «International Seminar on Frederik II», 2, «Fredric II et les savoirs» Erice, settembre, 1990.
- [22] Leonardo da Vinci, *Corpus of the anatomical studies in the collection of Her Majesty The Queen at Windsor Castle*, K.D. Keele, C. Pedretti (ed.), 3 vol. Londra-New York.
- [23] Locatelli F., *La fabbrica ducale estense delle artiglierie: da Leonello ad Alfonso II d'Este*, Bologna 1985.

- [24] Maccagni C., *Leggere, scrivere e disegnare la «scienza volgare» nel Rinascimento*, in «Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa», serie 3, vol. 23, fasc. 2 (1993).
- [25] Newman W., *Technology and alchemical debate in the late Middle Ages*, in «Isis», vol. 80 (1989), pp. 423-445.
- [26] Newman W., *The Summa Perfectionis of Pseudo-Geber, a Critical Edition, Translation and Study*. Leiden, New York, Kobenhavn, köln, E.J. Brill, 1991.
- [27] Newman W.R. *Prometebean Ambitions, Alchemy and the quest to perfect Nature*, Chicago and London, University of Chicago Press, 2004.
- [28] Nummedal T.E., *Practical Alchemy and Commercial Exchange in the Holy Roman Empire*, in Smith P.H. e Findlen P., *Merchants & Marvels, commerce, science, and art in early modern Europe*, New York, London, Routledge, 2002, pp. 201-222.
- [29] Nummedal T.E., *On the Utility of Alchemical Fraud*, in Principe L.M., *Chymists and Chymistry, studies in the history of alchemy and early modern chemistry*, Sagamore Beach, Science History Publications 2007, pp. 173-180.
- [30] Obrist B., *Art et nature dans l'alchimie médiévale*, in in «Revue d'histoire des sciences» Centre international de synthèse, Section d'histoire des sciences. - 49 (1996), pp. 215-286.
- [31] Ovitt Jr., *The Status of Mechanical Arts in Medieval Classification of Learning*, in «Viator», 1983, pp. 89-105.
- [32] Pereira M., *L'alchimia medievale*, in «La nuova civiltà delle macchine», anno 11, v. 2 (1993), pp. 86-100.
- [33] Pereira M., *Arcana Sapienza, l'alchimia dalle origini a Jung*, Roma, Carocci, 2001.
- [34] Perifano, A., *L'alchimie à la Cour de Come 1^{er} de Medicis: Savoirs, culture er politique*, Honoré Champion, Paris 1997.
- [35] Rossi P., *I filosofi e le macchine*, Milano, Feltrinelli, 1971.
- [36] Scaglia G., *Il «Vitruvio magliabechiano» di Francesco di Giorgio Martini*, Firenze, 1985.
- [37] Smith P., *The Body of the Artisan. Art and Experience in the Scientific Revolution*, Chicago e Londra, The University of Chicago Press, 2004.
- [38] Zilsel E., *The Genesis of the Concept of Scientific Progress and Scientific Cooperation*, in *The Social Origins of Modern Science*, Raven D., Krohn W., Cohen R.S., (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 2000.