Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"	Vol. 46 (2015)	pp. 31-70	Trieste 2016

GIOVANNI BADINO[1,2]

IL VENTO IPOGEO: UNA STORIA DELLE PRIME OSSERVAZIONI "Questo, chi move? Non è quaggiù ogni vapore spento?.."

RIASSUNTO

Una serie di coincidenze ha portato alla "scoperta" di citazioni riguardanti alla presenza di correnti d'aria e in miniera nei secoli passati. In particolare Agricola nel suo De Re Metallica descrive accuratamente, senza interpretarle, le correnti d'aria in miniera, mentre nel XVII secolo Kircher ed Herbinius descrivono quelle che fuoriescono da una serie di grotte sul "Monte Eolio), nell'Italia Centrale e ne tentano fantasiose interpretazioni in un quadro di fisica aristotelica. Solo a metà del XVIII secolo il naturalista russo Lomonosov riprende queste citazioni e ne interpreta correttamente il motivo.

ABSTRACT

A series of coincidences have lead to the "discovery" of some writings from the 16th to the 18th centuries about the presence of underground airflows. In particular Georgius Agricola, in his De Re Metallica, accurately described air currents in mines, without interpreting them, while in the 17th century Athanasius Kircher and Jan Herbinius described those emerging from the caves on "Mount Aeolian", in central Italy, trying then fanciful interpretations in a context of Aristotelian physics. Only in the middle of the 18th century the Russian naturalist Michail Lomonosov resumed these writings and interpreted correctly the cause of subterranean air movements.

***Key Words**: airflow in mines, airflow in caves, speleotherapy, Grotte du Vent, Ventoux, Lomonosov, Kircher*

INTRODUZIONE

Non sappiamo chi sia stato il primo a notare che sottoterra, a volte, soffia un gran vento. Forse sarà toccato ad un antico artista di pittura parietale a cui la corrente d'aria faceva fastidiosamente ballare la fiamma della fiaccola, innervosendolo.

Ma è certo che già gli antichi minatori erano diventati di necessità ben esperti nei flussi d'aria visto che una delle tecniche di estrazione dei minerali era basata sull'accensione di fuochi contro la roccia: una fiamma in sotterraneo, e soprattutto nei minuscoli sotterranei delle antiche miniere, è fatale in pochi secondi a chiunque le si trovi sottovento.

È probabile però che quelle che andiamo ad analizzare in questo lavoro siano le prime discussioni che riguardano questo problema. Si tratta di quattro testi scritti fra il 1550 e il 1750 che ne parlano diffusamente, scritti che abbiamo trovato grazie ad una bizzarra serie di coincidenze, il cui racconto sarà proprio il filo conduttore, la passeggiata, di questo viaggio sulle ali del vento.

Del vento sotterraneo...

[1] Università di Torino, Dipartimento di Fisica, via Giuria 1, 10125 Torino: giovanni.badino@unito.it .

[2] La Venta Esplorazioni Geografiche

PROMENADE

Diversi anni fa Paolo Forti mi diede la fotocopia di alcune pagine dell'Herbinius che citavano le circolazioni d'aria sottoterra [HERBINIUS, 1678]. Con una prima occhiata vidi che si parlava di un "Monte Eolio", ma non ci avevo fatto caso; quel che si capiva, lì per lì, non pareva molto convincente, e lo avevo riposto in un cassetto.

Nel 2010 mi trovo ad andare sul Monte Eolio, naturalmente senza saperlo.

Il Gruppo Speleologico di Cesi ha organizzato SpeleoNotte, e mi invita a raccontare avventure sotterranee. Non ho mai sentito nominare un posto chiamato "Cesi" né so se abbia un qualche vago interesse carsico. Le fotocopie dell'Herbinius, intanto, riposano nel buio di un cassetto.

Mi informo e scopro che Cesi è in Umbria.

Arrivo in un bellissimo paesino sulle pendici di una montagna imponente, e andiamo nella sede del gruppo speleologico. Lì tutto è nella norma, con la normale dotazione di bottiglie di vino, moschettoni fangosi e corde, ma c'è un dettaglio che la distingue da tutte le altre sedi di gruppi grotte: una botola nel pavimento dalla quale esce un gran vento, con aria di grotta.

Evidentemente la sede "continua".

Mi sembra di sognare. Fra un bicchiere e l'altro inizia una conversazione:

"Ma da dove arriva quest'aria?".

"È una grotta ferma in strettoie".

"Ma avete scavato?".

"Un po', ma è un lavoro lungo".

Sono assolutamente interdetto.

"È un fenomeno strabiliante che meriterebbe di essere conosciuto e documentato sul serio", penso fra me, ignaro del fatto che 350 anni prima ne sono state date descrizioni, che peraltro ho già tutte a casa...

La salita sulla gran montagna calcarea (ora monte Torre Maggiore) è interessante, ma non ci sono evidenti segni di carsismo, e c'è una gran copertura vegetale che rende difficile ogni ricerca d'ingressi alti. Il posto della festa (Sant'Erasmo) è un pianoro fantastico, con tanto di antichissima fortificazione a balcone sulla valle sottostante.

Mi rimane la sensazione che là sotto ci sia qualcosa di straordinario.

Passa del tempo ed ecco che, capitandomi sottomano le fotocopie dell'Herbinius, colgo la parola "Caesi". Ma è la stessa Cesi? Anche solo una lettura sbilenca del latino, che non pratico da anni, mi fa capire che sì, è quella Cesi, e che Herbinus in realtà ne parla citando il Mundus Subterraneus di Kircher, il famosissimo libro seicentesco [Kircher, 1678].

È un libro tanto famoso che ne ho una copia anastatica [Vai, 2004] accanto a me, mi alzo, la estraggo dallo scaffale e, bontà mia, finalmente la sfoglio con attenzione.

Ecco le pagine citate, e anche una figura in cui si vede il Monte Eolio soffiare su Cesi.

Incredibile.

Mi chiedo se qualcuno si è mai accorto che Kircher cita un fenomeno naturale del carsismo dell'Umbria, e lo discute per diverse pagine, perché lo trovava straordinario.

Pare di no.

Sono state vendute un centinaio di copie anastatiche del Kircher fra gli speleologi ma tutti gli acquirenti, me compreso, si sono limitati a voltarne le pagine ammirando le figure.

Passa del tempo. Approfitto di un lungo viaggio in treno per trascrivere i testi latini, poi cerco di trovare qualcuno che li traduca, senza successo.

Nel 2013 mostro le immagini del Kircher in una serata di speleologia a Terni: "vi parliamo di grotte esotiche, ma ha poco senso, la cosa più bella della speleologia è che si occupa del mistero geografico sotto casa. Guardate di quali grotte parla il famosissimo Mundus Subterraneus, 350 anni fa...".

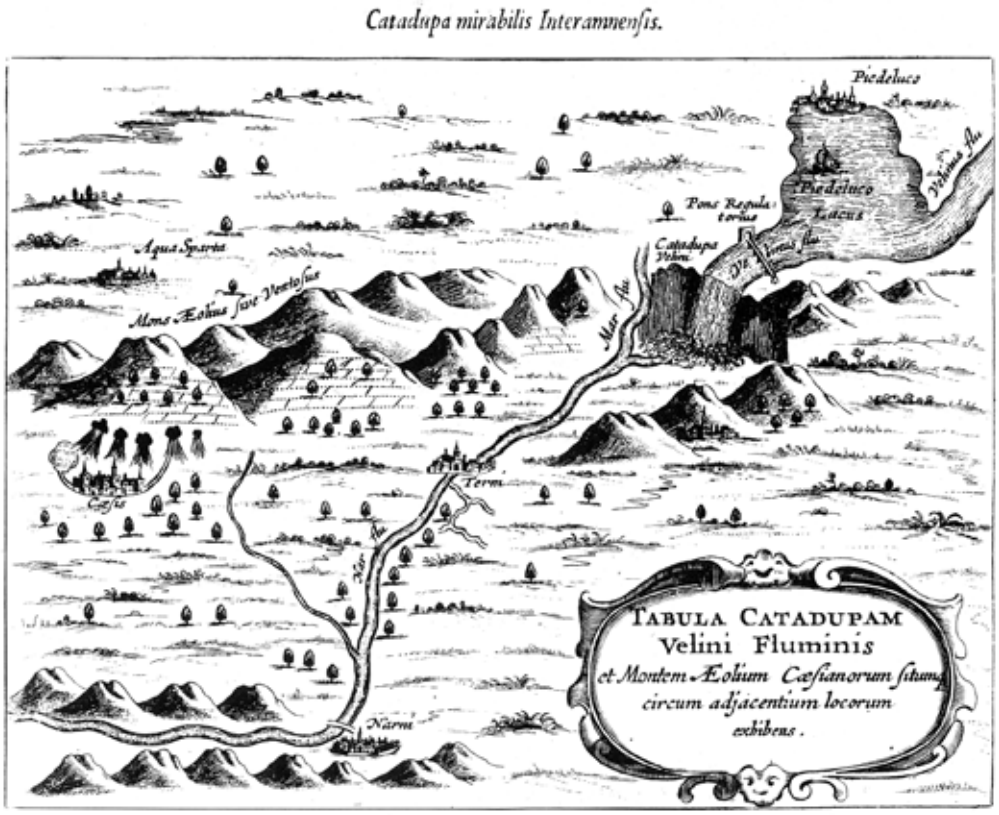


Fig. 1 - Tavola della Cascata del fiume Velino, da Mundus Subterraneus.

Anche gli speleologi ternani sono stupefatti, non ne sapevano nulla.

L'indomani mi portano in una cava sulle pendici dell'Eolium Mons, dove c'è la grotta Gis, circa alla stessa quota di Cesi, che si sviluppa per qualche centinaio di metri di ambienti di frana, aria forte, con qualche speranza di prosecuzione.

E poi continuo a cercare traduttori, sino a che una vocina mi ricorda che dopotutto ho studiato il latino per otto anni, e che ero pure bravino...

In una mattinata di quiete, armato della mole del dizionario Georges e di diversi dizionari online, mi metto a tradurre quelle pagine, sono proprio curioso di scoprire cosa troverò. Passa un'oretta, poi ne passano altre, numerose, a spizzichi e bocconi nelle settimane successive.

Il testo è complesso.

A lettura sommaria si intravede il senso, ma tradurre con una certa cura l'intero testo è difficilissimo. La lingua di Kircher è quasi insopportabile, arzigogolata per far vedere che è dotto e che scrive solo per iniziati. Io sono chiaramente un intruso, e via via che proseguo la lettura, comincio a compiacermi di esserlo. È un latino brutto, pesante, richiede più un lavoro da enigmisti che da traduttori. Ahimè, Publio Cornelio Tacito, dove sei finito?..

All'inizio preferisco realizzare una traduzione quasi letterale, per rendere l'idea della fastidiosità della scrittura. Poi mi rendo conto che otterrei un articolo altrettanto fastidioso, e modero la posizione cercando di avvicinarmi un po' di più alle forme italiane, ma senza staccarmi troppo dall'astrusa costruzione del testo.

In seguito è ancora un viaggio in treno che mi regala la quiete per lavorare a queste note, un treno che mi porta nuovamente in Umbria a fare una conferenza per gli speleologi di Magliano Sabina. A cena con loro, forte di traduzioni, di annotazioni e della vicinanza del monte, la conversazione finisce sul Monte Eolio e si scopre che, oibò, è uno dei loro territori di ricerca...

Le coincidenze che dominano questa storia stanno diventando stupefacenti.

Il viaggio si conclude all'incontro nazionale a Narni, quando finalmente riesco a raccogliere informazioni sul carsismo nella zona e a far visita ai sotterranei di Palazzo Cittadini-Cesi.

Prima di affrontare il Mundus Subterraneus, diamo un'occhiata al carsismo della montagna che vi è descritta.

Grotte e captazioni del vento nel monte Eolio-Torre Maggiore

Il monte Torre Maggiore domina la città di Terni ed è la più alta cima dei monti Martani, una catena che fa parte geologicamente dell'Appennino Umbro-Marchigiano e che si estende a oriente della valle del Tevere per oltre quaranta chilometri in direzione nord-sud. È costituita in prevalenza da calcari che vanno dal Trias Superiore all'inizio del Cenozoico.

Le ricerche speleologiche vi sono abbastanza recenti e piuttosto frammentarie, ma soprattutto manca un quadro complessivo dello stato delle conoscenze acquisite sinora, quindi ci limitiamo ad alcune note.

Nell'abitato di Cesi esistono diverse bocche soffianti nel periodo estivo, impercorribili, utilizzate come fonte di freddo durante la stagione calda. Due siti, in particolare, sono da segnalare.

La grotta Eolia, a quota 450 m slm, ha l'ingresso nei sotterranei del palazzo Stocchi, nel pavimento di una sala dove ha sede il gruppo speleologico di Cesi. Ha uno sviluppo di circa 200 metri estesi sotto l'abitato di Cesi [Fantato, 2015], con molte strettoie e tratti di belle gallerie presto chiuse da fratture soffianti. Non ci sono evidenti strutture di utilizzo del flusso d'aria.

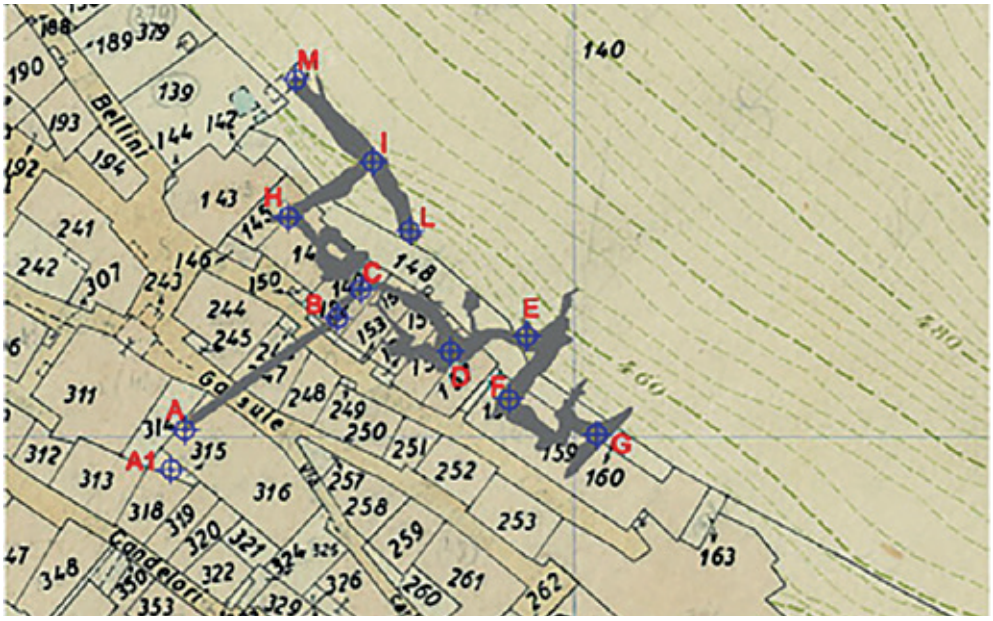


Fig. 2- Pianta della grotta Eolia sotto l'abitato di Cesi [Fantato, 2015]

Fig. 3 - Cesi e il monte Torre Maggiore. In evidenza, sulla destra, Palazzo Cittadini-Cesi.

Ben diversa la situazione del palazzo Cittadini-Cesi.

Un elenco catastale umbro [Regione Umbria, 2015] cita l'esistenza nelle sue cantine di una "grotta Marchese Cittadini", con uno sviluppo di 51 metri, che risulta ignota alla speleologia locale. Grazie alla gentilezza degli attuali proprietari abbiamo potuto fare una ricognizione nei sotterranei del palazzo. Pare che l'ingresso della grotta sia stata murato nel primo dopoguerra e la sua localizzazione e struttura sono incerte, ma la visita ha portato al "ritrovamento" dei locali citati da Kircher. L'autore del Mundus Subterraneus con tutta probabilità era stato ospitato proprio in questo palazzo, visto che era domicilio della più importante famiglia nobiliare locale che aveva dato i natali a Federico Cesi (1585-1630), un naturalista fondatore dell'Accademia dei Lincei. L'ospitalità fu tale da meritarsi una citazione nel libro: "*summa benevolentia a Primoribus loci*...".

Fig. 4 - La galleria principale dei sotterranei refrigerati di Palazzo Cittadini-Cesi.

Le fondazione dell'edificio principale sono complesse e da interpretare in dettaglio, ma al livello più basso

vi è una straordinaria galleria di una ventina di metri di lunghezza, di sezione circa 1x2 m^2, rettilinea, scandita con regolarità da ampie nicchie ornate di anfore e brevi diramazioni laterali, ad essa perpendicolari, che finisce in una sala trasversale ben più ampia (circa 4x8 m^2, alta 4 m). Nelle sue pareti sono scavate altre nicchie ripostiglio, con mensole.

Al centro della parete frontale due pilastrini a sezione quadrata reggono un arco che immette nell'ultimo tratto di galleria, chiuso dopo pochi metri da una sorta di abside, occupato al centro dalla "Fontana d'Aria". Si tratta di un'ultima nicchia, architettonicamente integrata con cornici e mensole nella galleria, molto simile ad una fontana vera e propria ma senza vasca di raccolta. Dai suoi buchi non esce acqua ma il flusso d'aria della montagna.

Tutta questa struttura pare progettata sin dall'origine, quindi contestualmente al progetto dell'edificio concluso nella sua prima fase nel 1550, come sistema di conservazione di alimenti a climatizzazione naturale (un'architettura bio-climatica *ante litteram*). Essa quindi è realmente di grandissimo interesse storico-architettonico e richiede assolutamente studi ulteriori.

Fig. 5 - Sala principale dei sotterranei refrigerati.

Fig. 6 - Galleria della Fontana d'Aria.

Nella sezione nord-orientale del palazzo, ad una decina di metri di quota più in alto dei sotterranei appena citati, c'è un'altra struttura di cattura della refrigerazione naturale, con una saletta "frigorifica" da cui si dipartono frammenti di tubi che portavano aria fredda in altri piani dell'edificio. La struttura è essenzialmente tecnica, senza concessioni all'effetto architettonico e secondo il proprietario potrebbe essere di epoca

Fig. 7 - Fontana d'Aria.

Fig. 8 - Fonte del flusso d'aria nel sotterraneo NE di Palazzo Cittadini-Cesi.

tardo-medievale. Essa utilizza l'aria che fuoriesce da un orifizio di dimensioni decimetriche in roccia, occupato all'interno da pietrame incoerente e parzialmente concrezionato, ben permeabile al flusso dell'aria.

Nei pressi del paese risulta [Di Matteo, 2015, Regione Umbria, 2015] l'esistenza di un'ulteriore grotta del Risucchio, descritta come un'unica sala di 10 m di sviluppo, chiusa in frana.

Poco più di un chilometro ad est dell'abitato di Cesi, alla sua stessa quota, gli scavi di una cava hanno portato alla scoperta della grotta Gis, la più importante della zona. Si tratta di una cavità di circa 800 metri di sviluppo e 70 di dislivello, molto concrezionata e con vasti ambienti di crollo. Anch'essa è percorsa da una forte corrente d'aria in uscita durante l'estate.

Poco sopra la cava vi sono altre grotte (Bisogni I, II e III) di piccole dimensioni.

Nei pressi della strada verso il magnifico pianoro di Sant'Erasmo, 1.5 km a nord-ovest di Cesi, intorno a quota 620 si apre la grotta Arnolfi, una grotta suborizzontale concrezionata e di circa 80 metri di sviluppo, chiusa in frana. La corrente d'aria che la percorre ha lo stesso verso delle grotte precedenti, ma quando vi abbiamo fatto una ricognizione il flusso era modulato su periodi di decine di secondi. Nella stagione calda ha una velocità di efflusso

dell'ordine di 4 m/s [Di Matteo, 2015].

Più in quota ci sono altri ingressi da disostruire, in particolare la buca del Diavolo, pochi metri sotto la sommità del monte Torre Maggiore (1120 m slm).

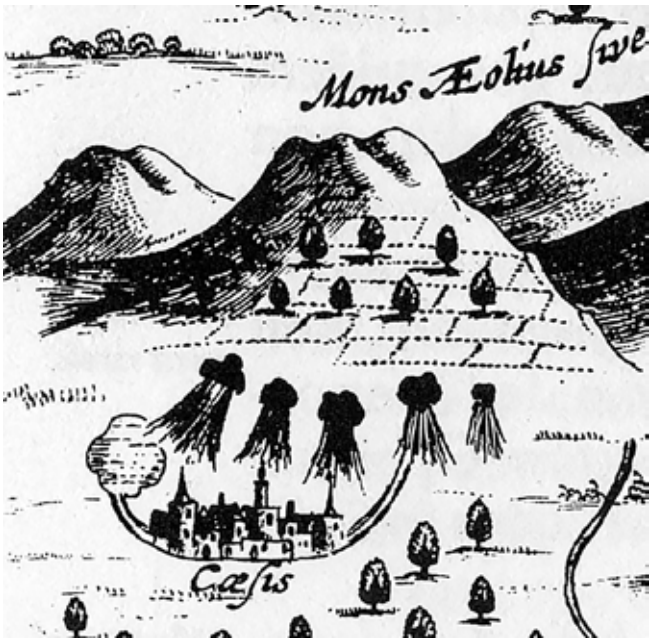


Fig. 9 - Il Monte Eolio e Cesi, particolare della Tavola della Cascata del fiume Velino.

Aristotele e Alighieri

Iniziamo inquadrando le idee in cui si sono inseriti gli scritti che andremo ad analizzare.

Nel mondo occidentale l'autorità suprema per quel che riguardava gli aspetti "fisici" del mondo, e in particolare per la meteorologia, è stato senza dubbio Aristotele, le cui idee, a volte geniali, ma spesso davvero bizzarre sono state di autorità inappellabile per quasi due millenni.

Il testo aristotelico di riferimento per quel che riguardava la spiegazione dei fenomeni di questo tipo (vento, pioggia e grandine, ma anche la salinità del mare e i terremoti) è il "Meteorologia", in particolare il Libro Secondo.

Già nel Libro Primo però c'è una importante nota sulla micrometeorologia degli ambienti sotterranei che, vedremo, è strettamente legata al "vento sotterraneo". Mentre discute la formazione della grandine Aristotele infatti afferma (Meteorologia, 1, XII):

Ma dal momento che vediamo che caldo e freddo si respingono reciprocamente -e infatti quando il tempo è caldo i luoghi sotterranei sono freddi, e caldi invece quando il tempo è freddo-.

L'osservazione sperimentale serve ad Aristotele per fare deduzioni sul comportamento del caldo e del freddo nelle zone di formazione della grandine. Verso la fine di questo lavoro mostreremo che i concetti di caldo e freddo sono molto complessi perché mescolano sensazioni fisiche e parametri ambientali; ed è verissimo che in inverno si ha la sensazione che sottoterra faccia caldo e l'opposto d'estate, ma in realtà la temperatura sotterranea è semplicemente costante lungo l'anno. In questo caso Aristotele fa un'affermazione su "caldo e freddo" come soggetti e non come sensazioni, e dunque la sua nota è falsa: il "gradum caloris" sotterraneo non dipende dalle stagioni e quindi il suo ragionamento cade.

Nella sua Parte Quarta il filosofo greco ci racconta che il vento ha origine dall'azione del sole sulla terra; il suo calore ne estrae i vapori umidi che poi formano la pioggia, ma ne estrae anche quelli secchi (che, ci spiega, sono "una sorta di fumo") che generano i venti. Questi vapori salgono dalla superficie terrestre e poi scorrono come fiumi qua e là, insieme a quelli umidi, e a seconda del prevalere dell'evaporazione umida o di quella secca, si generano i differenti eventi meteorologici.

In questo quadro pare dunque non poter rientrare l'esistenza di venti sotterranei, perché là sotto il sole non batte. Tuttavia nella Parte Ottava dello stesso libro Aristotele afferma che le evaporazioni esterne riescono a penetrare sottoterra e sono esse che provocano i terremoti (Meteorologia, 2, VIII):

Quindi non l'acqua, non la terra causano i terremoti, ma è il vento, quando l'esalazione esterna si dirige all'interno della terra.

E infatti sostiene che i terremoti avvengono nei luoghi dove le correnti marine sono più forti e la terra piena di caverne, perché è il flusso delle acque che risospinge sottoterra i venti:

Ancora, i terremoti più violenti si verificano nei luoghi dove il mare è agitato o la terra è spugnosa e ricca di cavità. (...) In questi luoghi i terremoti si producono soprattutto per l'angustia del luogo; infatti se si leva un vento molto forte, esso viene risospinto sottoterra dalla massa del mare che confluisce, mentre per natura dovrebbe uscire all'esterno. Le regioni che hanno vasti luoghi sotterranei sono più soggette ai terremoti perché rinserrano una grande quantità di vento. (...) Bisogna infatti pensare che l'azione del vento rinchiuso sottoterra è simile a quanto avviene nel nostro corpo, (...) e alcuni terremoti sono simili a tremiti, altri a palpitazioni.

Insomma, nelle fantasie di Aristotele i venti sotterranei sono qualcosa che proviene dall'esterno e, se intrappolati, provocano terremoti, così come aria e acqua dentro di noi provocano tremori.

Sedici secoli più tardi Dante Alighieri è ancora ben immerso nella fisica aristotelica, e quindi le sue citazioni del vento sotterraneo sono da interpretare in questo quadro.

La prima volta che ne parla è nelle raccolta delle Rime Petrose (Rime, 100), fatta intorno al 1296, dove troviamo:

Versan le vene le fummifere acque
Per li vapor che la terra ha nel ventre
Che d'abisso li tira suso in alto.

Questa poesia ha ispirato il nome di una grotta sull'Auyantepui, in Venezuela [Pezzolato, 1994], un pozzo di 315 metri di profondità la cui forte corrente d'aria in uscita produceva, in una fresca mattina, una grande nube di mescolamento [BADINO, 2005] sopra l'ingresso.

Il poeta quindi ritiene, con Aristotele, che l'acqua in uscita dalle sorgenti non

Fig. 10 - Nube di mescolamento all'ingresso dell'abisso Fummifere Acque, Auyantepui, Venezuela.

abbia origine dalla pioggia, ma dai movimenti dei vapori umidi sottoterra che emergendo condensano.

Dante cita un seconda volta il vento sotterraneo nel Canto 33 d'Inferno (1312 circa), quando descrive l'arrivo nella Giudecca, l'estremo fondo dell'Inferno dove Satana in persona, confitto nel ghiaccio, con le sue ali di pipistrello produce un gran vento che spazza il deserto di ghiaccio in cui avanzano i due poeti. Dante raggela e si stupisce di questo movimento d'aria, che contraddice l'idea che laggiù tutto sia immobile perché, appunto, non c'è il sole a provocare evaporazioni:

già mi parea sentire alquanto vento:
per ch'io: «Maestro mio, questo chi move?
non è qua giù ogne vapore spento?».

L'assenza dell'azione del sole rende strana la presenza di questo flusso d'aria. Il dilemma è spiegato nel successivo Canto 34, è Satana stesso che lo muove le sue ali:

Non avean penne, ma di vispistrello
era lor modo; e quelle svolazzava,
sì che tre venti si movean da ello:
quindi Cocito tutto s'aggelava.

Insomma, in antico i venti sotterranei erano visti come fatti decisamente eccezionali e soprattutto puramente teorici, praticamente inspiegabili.

Athanasius Kircher, Mundus Subterraneus, 1674

Non parliamo in generale di Kircher e della sua opera perché ciò esulerebbe dallo scopo di questo lavoro, ma è facile reperire eccellenti inquadramenti [MORELLO, 2014].

Il testo che ci interessa commentare è nel Mundus Subterraneus al capitolo XIX, "De Interiore Geocosmi Constitutione", ed è parte del sottocapitolo 4, "De Aerophylaciis Geocosmi Subterranei", ad iniziare dalla seconda colonna di pagina 114.

Qui già possiamo fermarci, prima per complimentarci con Atanasio per il termine "Geocosmo Sotterraneo", ma soprattutto per rispondere all'ignorante che chiede cosa diavolo sia un "aerofilacio". Ahimè, come non saperlo?..

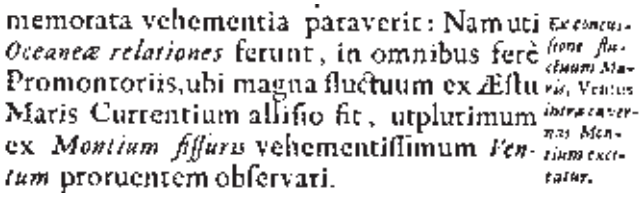
Per Kircher la Terra è un corpo solido attraversato da due reti interne e ramificate di cavità infuocate ("pyrophylacia" o camere magmatiche) e di cavità piene d'acqua ("hydrophylacia" o acquiferi). Il termine greco φυλαξ indica "custodia", ed è l'analogo del termine latino "carceres", sempre con un senso di costrizione, e che in origine indicava gli ambienti di partenza degli ippodromi in cui stavano le quadrighe prima del via. Noi quindi possiamo tradurlo con Aerocarceri, Pirocarceri e Idrocarceri.

Fig. 11 - Athanasius Kircher [da Wikipedia]

Quindi il titolo del sottocapitolo diventa: “Gli Aerocarceri del Geocosmo Sotterraneo”. Bellissimo.

L’annotazione di commento a fianco del testo è:

“*Ex concussione fluctuum Maris, Ventus intra cavernas Montium excitatur*”.


memorata vehementia paraverit: Namuti *Oceaneæ relationes* ferunt, in omnibus ferè Promontoriis, ubi magna fluctuum ex Æstu Maris Currentium allisio fit, utplurimum ex *Montium fissuris* vehementissimum *Ventum* prorumpentem observari.

Ex concussione fluctuum Maris, Ventus intra cavernas Montium excitatur.

Fig. 12 - Particolare della nota a margine: il vento nelle caverne è provocato dai flutti marini.

Quindi: “Il vento fra le caverne dei monti è generato dallo scontro fra i flutti del mare”. C’è di che preoccuparsi, ma nel testo si dettaglia e migliora l’idea:

Le relazioni sugli Oceani riportano che, in quasi tutti i promontori, le grandi onde sono compresse dal flusso delle correnti marine, e in modo simile dalle fessure dei monti si osservano prorompere molti veementissimi venti.

Non dirò qui del Monte Ventoso, nel Contado Venassino, vicino a Carpentras, doveroso da citare, dalle cui grotte è ben noto erompere il fiato di venti veementi. Né cito gli altri innumerevoli effetti degli aerocarceri in Europa, ovunque incontrabili.

Qui si parla del Monte Ventoux, (la regione è storicamente denominata “Comtat Venaissin”) celebre per la salita del Petrarca e come tappa del Tour de France. È calcareo e fa parte del bacino di assorbimento della Fontaine de Vaucluse.

È probabile che si riferisca alla Grotte du Vent, o Trou Soufflant, una grotta di 140 metri di profondità sul versante nord-ovest. Che sia la sua prima citazione? È la grotta più ad alta quota del bacino (1458 m slm, 1352 sopra la Fontaine) ma funziona da ingresso basso, “per la presenza di camini verticali sino a 250 m dall’ingresso che senza dubbio comunicano con la superficie (cresta del Ventoux)” [FAGE, 1981].

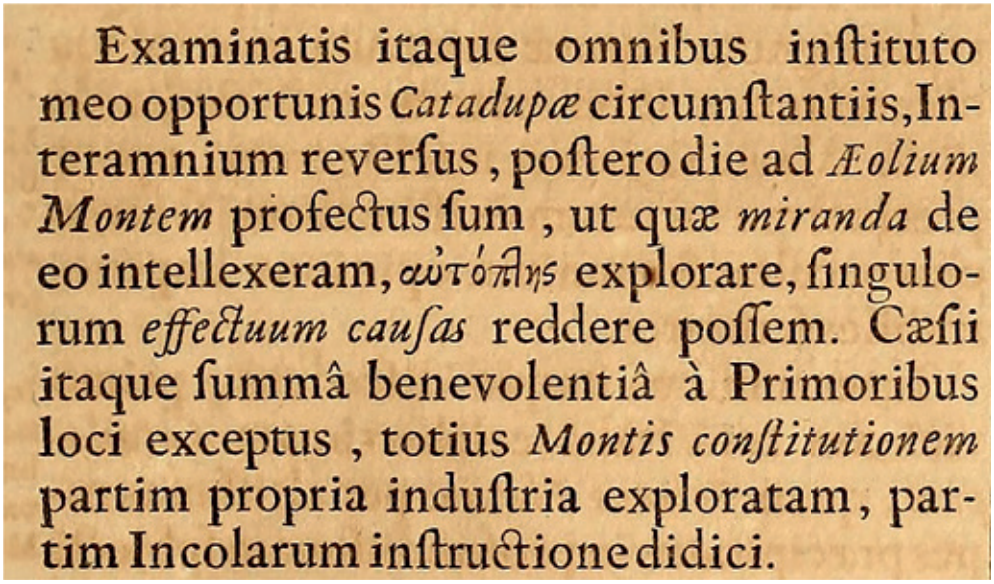

Examinatis itaque omnibus inſtituto meo opportunis *Catadupæ* circumſtantiis, Interamnium reverſus, poſtero die ad *Æolium Montem* profectus ſum, ut quæ *miranda* de eo intellexeram, αὐτόπτης explorare, ſingulorum *effectuum cauſas* reddere poſſem. Cæſii itaque ſummâ benevolentiâ à Primoribus loci exceptus, totius *Montis conſtitutionem* partim propria induſtria exploratam, partim Incolarum inſtructione didici.

Fig. 13 - Particolare dell’inserimento della parola greca di “testimone” nel testo latino.

Aggiungerò soltanto quanto ho accertato di mia propria esperienza in Italia.

Mentre nell'anno 1658 andavo a visitare per motivi di devozione il Santuario di Loreto della Madre di Dio, lungo strade tutte molto conosciute, intanto osservavo viaggiando gli ignoti miracoli della Natura che incontravo; in particolare avevo sentito, fra molte altre cose, del monte Eolio di Cesi, e avevo stimato di poter fare qualcosa di valore se avessi indagato le sue cause occulte e incomprensibili nell'opinione di tutti.

Poi passa ad una breve descrizione della cascata delle Marmore, nelle Gole del Velino, che omettiamo. Qualche riga più in là ritorna a noi:

Indagate pertanto tutte le caratteristiche della cascata utili al mio progetto, ritorno a Terni e il giorno seguente mi spingo al Monte Eolio per capire le sue meraviglie ed esplorare di persona [in greco], in modo da rivelare le cause dei singolari fenomeni.

Il termine greco che utilizza è "*autoptes*", parola componente di αυτοπτης μαρτυρας, che vuol dire "testimone oculare". È evidente il desiderio di mostrasi erudito.

Pertanto, ricevuta la somma benevolenza dei maggiorenti del luogo di Cesi, imparai la struttura di tutto il monte in parte investigandola personalmente, in parte per informazione degli abitanti.

Il sito di questo monte è fra Castello San Gemini e Interamnia, volgarmente Terni, proteso in una catena montuosa per otto miglia da est a ovest, come si vede nell'allegata figura. Il monte è tutto sassoso, di tal natura che sassi di mole grandissima sono sovrapposti uno all'altro, ed è da discernere il mirabile artificio di Natura e la solida industriosità.

Sul monte vi è un villaggio di nome Cesi che si dice venga dai primi fondatori che erano i signori dell'antica Cesi. E così questo monte a buon diritto si chiama Monte Eolio, o dei Venti, che in certi momenti son così intensi che sarebbero da chiamare "tempeste".

Infatti durante l'estate da tutte le fessure e spaccature soffia un vento impetuoso, tanto che nell'abitato adiacente sono ricordati abitanti che, con una sorprendente attività, non diversamente da come si fa nelle città per i canali dell'acquedotto, fra cripte e cantine disponevano (da queste fessure) canali da vento, impregnando di una gratissima freschezza sia vino e acqua, sia ogni genere di frutta. Cosicché la feroce forza della Natura si volge in soavissime delizie.

Si vedono inoltre canali attentamente costruiti nelle case dei nobili, e sportelli abilmente disposti per poter moderare a volontà l'impeto dei venti, aggiungendo porticine e piccole sporte in modo da esporre bevande e cibi alla gran forza di questa frescura senza che si ghiaccino.

In verità, prima di accingermi a indagare le cause (di questo fenomeno), premetto le circostanze di questi fenomeni:

Primo, si trovano i flussi dei venti, non in tutti i giorni dell'anno, né in tutte le ore del giorno, ma solo nei mesi estivi, quattro (ore) prima di mezzodì e altrettante dopo quell'ora. Passate quelle ore, i venti a poco a poco, insensibilmente, indeboliti spariscono. E, di fatto, nelle ore notturne a malapena si sentono tracce di quei venti. In modo che, nell'arco della giornata, con maggiore o minore forza, e a volte più e a volte meno, si sente l'agitazione e il soffio delle brezze racchiuse.

Qui Athanasius è davvero preciso, e l'osservazione è importante.

C'è una strana quantificazione di quattro più quattro ore che non ha senso fisico. Sta di fatto che troveremo qualcosa di simile in Agricola, là dove quantifica le inversioni stagionali delle correnti d'aria nelle miniere. A rendere un po' meno bizzarra e falsa questa affermazione, ricordiamo che Kircher praticava le "ore" classiche, cioè la dodicesima parte del tempo fra alba e tramonto, e non le nostre di durata invariabile, che pure esistono sin dall'antichità ("ore equinoziali") ma erano utili solo agli astronomi. Le ore classiche descrivono i processi meteorologici giornalieri molto più precisamente di quanto possano fare quelle equinoziali.

Secondo, durante i mesi invernali l'effetto dei soffi diviene opposto a quello degli estivi. Infatti, se qualcuno getta nel canale del vento uno strofiolo, o qualcosa di simile, esso, mirabile

a dirsi, non viene spinto in fuori dal vento che soffia ma è attratto verso l'interno, non so per quale forza nascosta, e con tanta più forza quanto più è intenso il freddo esterno.

Cos'è uno strofiolo? Si tratta di un termine antico che designava i semi "pelosi" e che ora in botanica indica solo l'escrescenza di questi semi. Quindi qui Kircher propone un modo indubbiamente efficace di rivelare le correnti d'aria. Bella soprattutto l'idea che l'aria in ingresso sia attratta da "*nescio qua abdita vi*"...

Terzo, la qualità dell'aria soffiata è tale che le persone che vivono in questi ambienti al rigore del vento, sono pochissimo colpite da alterazioni febbrili, come invece suole accadere in altri luoghi; (quest'aria) è incontaminata al modo di quella della stagione asciutta, sicché conduce in modo straordinario gli uomini alla salute e a una vita lunga.

Anche questo è una osservazione notevole, una citazione di speleoterapia *ante litteram* e, in effetti, l'aria di grotta è davvero pura.

Con queste circostanze presenti, che ho esposto come premessa, veniamo finalmente alle cause vere di questo prodigio così fatto.

È difficile dire quanto si sono affaticati gli investigatori di cose naturali a indagare la natura di questo monte; quante diverse opinioni sono state forgiate; tuttavia non esiste nessuno che sia arrivato alla (sua) vera e genuina causa.

L'affermazione fa sospettare che esistano altri testi, attualmente ignoti, che discutono il problema.

Quanto alla vera e genuina causa è ora ben nota: il flusso d'aria di tipo prevalentemente convettivo che circola nel monte Eolio è dovuto alla differenza di temperatura e quindi di densità fra le atmosfere interne ed esterne [Badino, 2010].

È un motivo che era alla portata di uno studioso come Kircher. La fisica del galleggiamento di un corpo in un fluido, ma anche di un fluido in un'altro di densità diversa, era ben conosciuta già allora, anche se con termini diversi dagli attuali. Galileo oltre cinquant'anni prima ne discute diffusamente [Galilei, 1612].

La temperatura dentro il monte è fissa, quell'esterna varia e l'aria dunque diviene più o meno "pesante" di quella interna a seconda che all'esterno faccia più freddo o più caldo che nel monte. *Itaque* la colonna d'aria interna cade, se fa caldo, o sale, se fa freddo, esattamente come avviene nelle canne fumarie, che dovevano essere ben note ai naturalisti del '600...

Alcuni pensano che la causa siano cateratte d'acqua nascoste nelle viscere del monte, che agitano l'aria interna e che erompono fuori dalla porta. Ma è evidente che quest'affermazione non può essere la spiegazione, perché il vento dovrebbe durare tanto in estate quanto in inverno, e tanto di giorno che di notte; cosa che è contro l'esperienza.

Verissimo, le acque non sono in genere in grado di muovere se non circolazioni d'aria locali, cioè turbolenze.

Alcune persone ritengono che i venti arrivino tramite cunicoli da monti vicini, nei quali sono entrati dall'esterno attraverso varie grotte spinti dal soffiare del vento (esterno) e, trascinati giù sino a questo monte, finalmente ne escano. Ma neppure questo si può sostenere come spiegazione: ne deriverebbe infatti che durante l'inverno, soprattutto quando i venti dominano, il vento di questa montagna dovrebbe soffiare maggiormente che in ogni altro momento, cosa che è parimenti contro l'esperienza.

Vero anche questo, benché l'idea che il vento esterno possa penetrare sottoterra duri ancora tuttora. I venti esterni sono mossi da differenze di pressione davvero minime (gradienti orizzontali dell'ordine di 1 Pa/km), che quando sono applicate fra due ingressi lontani su un'orografia regolare non sono in grado di muovere alcunché.

All'opposto, una giornata di vento turbolento su un'orografia accidentata può davvero muovere le arie sotterranee perché si creano sbilanciamenti improvvisi di pressione, anche notevoli, fra gli ingressi; ma in tal caso le correnti d'aria sono lontane dall'essere regolari.

Non sono mancati quelli che sostengono che venti di tal maniera traggano origine dalle onde del vicino mare; infatti l'aria che sta nei meati sotterranei, è spinta dentro questo monte dai colpi delle ondate, dove viene compressa nelle fratture e finalmente espulsa fuori. Ma anche questo non ha solido fondamento: ne deriverebbero, infatti, venti perpetui al perpetuo muoversi del mare, o un loro continuo e confuso interrompersi, cosa anche questa contro l'esperienza. Questi sono i punti principali sui quali i fisici hanno rinsaldato le loro opinioni sulla natura di questo monte.

Verissimo. Rimane la curiosità di reperire gli scritti citati da Kircher.

E così stabilito, comunque tentiamo le forze del nostro ingegno in un problema così complesso. Pertanto dico che non ricorrerò a nessun'altra causa prodigiosa per questo effetto che non sia di rarefazione e condensazione dell'aria, che così spiego.

Senza dubbio assumo per prima cosa che tutto questo monte sia cavo, cosa che hanno per certo gli indigeni, istruiti da una lunga esperienza e che io ho scoperto con un'esperienza indubitabile.

Dopo che infatti ti sarai inoltrato per qualche occulto meandro, nel primo luogo ove orridi precipizi appaiono sospesi nell'abisso del monte, se vi getti una pietra si risveglierà dopo parecchio tempo un suono come in pozzi o cisterne echeggianti, cosa che senza dubbio non può dare maggiore indizio di una grande cavità nel monte.

Bella descrizione, ma rimane ignoto il posto dove è andato a fare questa esperienza, perché nella zona non sono note cavità accessibili con le caratteristiche qui descritte.

Secondo, tutta la superficie sassosa del monte è segnalata essere piena di buchi, spaccature e fenditure, non tanto da questa parte di Cesi, ma dalla parte opposta che guarda al paese di Acqua Sparta dove (ci sono) gli stessi effetti che si trovano a Cesi.

Preziosa indicazione per gli speleologi attuali.

Terzo, la mole concatenata di questi monti sassosi, privata di ogni sostanza terrestre, durante l'estate per varie riflessioni del sole fatte fra i monti, fra creste e valli, così intensamente assorbe la forza del calore che tu diresti che sei sotto la Zona Torrida, e non sia che si possa tollerare il caldo verso mezzogiorno, che gli uomini e gli animali sono spinti nelle case e nelle stalle.

Poggiato su queste premesse dico: presto quest'aria esterna fra i sassi del monte, dilatata dalle molteplici riflessioni del sole in una tenuissima sostanza rarefatta, in cerca di un maggior spazio, si insinua con sommo impeto nelle viscere interne fra fessure e spaccature. Ma, dato che non può coesistere con quella che è all'interno del monte, l'aria interna come un pellegrino spinto ed obbligato da quella entrante, (anch'essa) spinta e obbligata, ancora una volta preparandosi un rifugio nei maggiori meati del monte, dopo lunga lotta finalmente è espulsa con violenza all'esterno.

Dice bene a segnalare la rarefazione dell'aria calda, ma gli sfugge che l'esterno è un sistema aperto e dove quindi l'aria (sia in cima ai monti che nei fondi vallivi) si può espandere liberamente senza minimamente entrare in grotta. È invece l'aria interna, che non si è rarefatta, che inizia a cadere nel monte per il "sostegno manco" dell'aria esterna. E quindi gli ingressi alti vanno in depressione e quelli bassi in pressione, innescando la corrente d'aria convettiva.

E in questo modo nasce quel vento, di cui abbiamo parlato, nel tempo estivo e alle ore stabilite: e infatti al cessare della calura esterna di conseguenza deve cessare anche il vento.

Per tutte queste cose sarà mostrato un bell'esperimento di sfere eoliche.

Si faccia una sfera di solidissimo rame, con collo molto stretto, nel quale sia un buco sottile come la misura del punto di un ago. Si metta sul fuoco questa sfera riempita a metà con acqua, fino a che prenda un gran calore: raccolto il quale, subito mettila in acqua fredda e tienicela per un po' sommersa. E vedrai l'aria lì nascosta ridotta a sostanza tenuissima a poco a poco arretrare, condensata; e dato che non c'è a sufficienza altra materia in un luogo

scarso di aria, (la vedrai) attrarre l'acqua con gran impeto dentro di sé; in questo modo il vuoto della sfera si riempie totalmente.

L'esperimento è facilmente ripetibile con qualsiasi caffettiera: appena uscito il caffè, lo si versi e si metta la caffettiera aperta sotto il rubinetto, in modo che l'acqua corrente arrivi all'ugello di uscita del caffè. Appena l'acqua scorre sulla parte bassa, raffreddandola, l'ugello di uscita assorbe acqua che ricarica totalmente la caffettiera. Questo è dovuto al fatto che quando l'acqua si approssima a 100 °C, la sua pressione di vapore diventa uguale a quella atmosferica e l'acqua in evaporazione sostituisce completamente l'aria del recipiente, dato che alle condizioni di ebollizione un solo grammo d'acqua evaporata occupa un volume di 1.7 litri. Appena le pareti del recipiente si raffreddano questo vapore condensa e si forma una depressione fortissima che inghiotte l'aria –o l'acqua- esterne. Anche se l'acqua non ha raggiunto l'ebollizione (i 100 °C a livello del mare) il vapor d'acqua sostituisce comunque una parte sostanziale dell'atmosfera interna e il ricarico è semplicemente non completo. Quanto cita il Kircher è interessante, ma non c'entra assolutamente nulla con il fenomeno della circolazione d'aria in grotta.

Se allora la metterai nuovamente sui carboni accesi, l'acqua interna rarefatta subito si muta in vapore, vapore chiuso mentre l'uscita non è frenata se non dal piccolissimo buco, per questo erompe con il massimo stridore e grande impeto. Mancando il calore esterno, emette non vapori né un più forte vento, ma acqua restituita al suo stato naturale.

Sperimento anch'io questo stesso (fenomeno) durante i mesi estivi nel mio museo in cui si protende un passaggio segreto nel giardino della casa concluso da quattro altissimi muri di tempio e collegio. Accade così che quando, d'improvviso, l'aria nel giardino al fervore del sole del mezzodì si accende all'impatto delle riflessioni e varie radiazioni nei muri, questo eccesso dilatato dalla rarefazione vuole sfuggire, si slancia con gran impeto attraverso il passaggio segreto e crea una gradevolissima corrente d'aria nel museo; e questo non accade se non nelle ore pomeridiane dei mesi estivi, mentre nelle restanti ore del giorno o nei mesi invernali non si può percepire nessuno di questi effetti.

Si tratta del Collegio Romano, attualmente occupato dal liceo Visconti di Roma, e di quello che diverrà il museo Kircheriano, che per secoli è stato l'istituzione culturale fondamentale dell'Ordine dei Gesuiti. Quella citata è una circolazione d'aria quasi certamente convettiva come quella del monte Eolio, ma essa non ha la minima relazione con la fisica del vapor d'acqua.

Salva l'opinione di altri, io credo che sia questa la vera e genuina causa dei venti che con tanto impeto prorompono nei mesi estivi dal monte Cesiano.

D'altra parte cosa sia causa del processo che nei mesi invernali l'aria esterna rapisce nelle interiori viscere in verso opposto, insieme con strofioli, carta e simili cose fatte di sostanze più leggere messe agli orifizi del meato, questa dico essere: quando in inverno l'aria condensa, per paura del vuoto, sempre altra e altra aria da fuori tira dentro. La causa di quest'altro effetto, vale a dire di rimbalzo e attrazione, la dimostro con quest'altro esperimento.

Si faccia un vaso di qualunque materia ben solida, vetro, rame o stagno, al modo che mostra la figura AB. Dal suo fondo esca un tubo BAC, e il suo orifizio DE sia così chiuso per far sì che l'aria non possa da lì uscire: così lo strumento sarà perfetto. Se lo si mette al sole o al fuoco, presto l'aria interna uscirà, aria dilatata dalla rarefazione che troverà una via d'uscita dal tubo BAC e di conseguenza dall'orifizio C del tubo, apparirà un sensibile vento che si vedrà mettendoci una piuma.

Questa è semplice dilatazione termica dell'aria quando viene riscaldata.

Se invece raffredderai il vaso AB, l'aria AB condensa e con ammirazione vedrai l'aria esterna attratta a supplire il vuoto interno fatto dall'aria mancante. E da questo esperimento appare in modo chiaro e certo la causa dell'altro effetto in detto monte.

Riassumendo, si tratta di due esperimenti su gas caldi, uno con vapor d'acqua e il secondo con l'aria. Nel primo la condensazione provoca una fortissima depressione, e non riguarda le correnti d'aria in grotta. Nel secondo caso la depressione è più limitata perché dovuta al raffreddamento dell'aria che, a differenza del vapor d'acqua, ha un comportamento prossimo a quello di un gas perfetto, quindi con una densità che varia con l'inverso della temperatura assoluta. Si noti che in questo secondo esperimento non è per nulla necessario che il tubo BAC arrivi sino al fondo (un recipiente simile è invece utile per esperimenti con l'acqua), è sufficiente che il tubo attraversi il tappo.

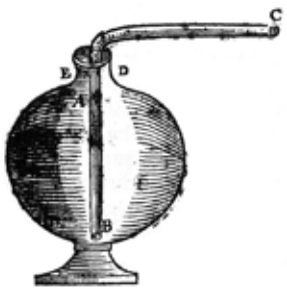


Fig. 14 - La sfera sperimentale descritta da Kircher.

In realtà i venti che in continuo sono soffiati da meati di qualche altra montagna, hanno senza dubbio origine, o per la sollecitazione dell'aria interna causata da cateratte sotterranee, o da flussi del mare, come si nota in alcune parti dell'Etna; o dalla fusione delle nevi, come nel monte Alvernia e dell'antro in Etruria vicino Volterra del quale attesta Alberto Leandro, (da cui) di quando in quando lo spirito vento così veemente erompe che si oppone a chiunque e atterra persino gli stessi alberi.

Athanasius non vuole contraddire troppo altri naturalisti, che evidentemente erano molto immaginifici. Il monte Alvernia è forse il Penna vicino Chiusi della Verna, celebre per l'agiografia di San Francesco; la dizione "monte Alverno" si trova ancora nell'800 [Rho, 1829]. O si riferisce alle montagne dell'Alvernia, in Francia? Che però non sono calcaree.

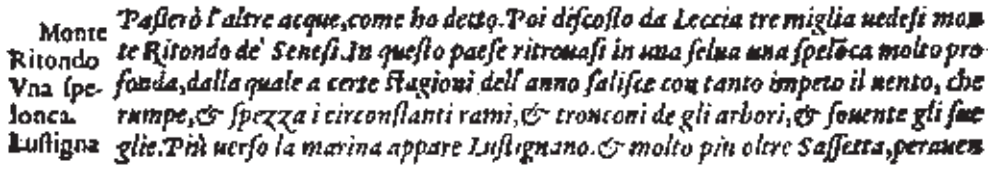
La seconda citazione è molto più interessante e riguarda il libro che Leandro Alberti dedica alla geografia d'Italia [ALBERTI, 1596]. Parlando della zona di Volterra cita Leccia, le sue acque sulfuree e i suoi "vitrioli" e poi Monterotondo:

In questo paese ritrovasi in una selva una spelonca molto profonda, dalla quale in certe stagioni dell'anno salisce con tanto impeto il vento, che rumpe, et spezza i circonstanti rami, et tronconi de gli arbori, et sovente gli sveglie.

No, non siamo di fronte a un super-Corchia: la zona è quella dei soffioni boraciferi, e quello citato da Alberti probabilmente ne era uno particolarmente spettacolare.

PROMENADE

Il Mundus Subterraneus è un libro un po' mitico per chi si occupa di grotte: antico, costosissimo, pieno di splendide incisioni. La sua lettura è veramente complessa, non solo perché si tratta di latino, lingua ormai poco praticata, ma soprattutto perché la scrittura di Kircher è studiatamente complicata. Non c'è dunque da stupirsi che sia passato inosservato per secoli il fatto che citava un fenomeno secondario del carsismo, quello delle correnti d'aria sotterranee, che ne citava un suo importante uso antropico, che dichiarava che la sua origine era stata negli anni ampiamente dibattuta, e infine che parlava di una zona carsica tuttora interessante.


Monte Ritondo Vna ſpelonca Luſtigna

Paſſerò l'altre acque, come ho detto. Poi diſcoſto da Leccia tre miglia uedeſi monte Ritondo de' Seneſi. In queſto paeſe ritrouaſi in una ſelua una ſpelonca molto profonda, dalla quale a certe ſtagioni dell'anno ſaliſce con tanto impeto il uento, che rumpe, & ſpezza i circonſtanti rami, & tronconi de gli arbori, & ſouente gli ſueglie. Più uerſo la marina appare Luſtignano. & molto più oltre Saſſetta, peraue

Fig. 15 - La nota di Leandro Alberti riguardo all'esistenza di un soffione sul Monte Ritondo de Senesi.

D'altro lato, se la descrizione del fenomeno è davvero ben fatta, molto altro è assai deludente. Kircher tenta, sì, una spiegazione con modelli fisici, ma in tutta evidenza senza capire come funzionano; utilizza più l'analogia che l'analisi, e crede di aver trovato la spiegazione del fenomeno perché gli pare che qualcosa del modello si comporti in modo simile. È un autore che ha una concezione del cosmo essenzialmente immaginifica e religiosa [MORELLO, 2014]. Finalistico e teologizzante, per lui la Terra è la sede della Redenzione e ha una fisiologia che va interpretata per analogie fra macrocosmo e microcosmo.

Purtuttavia stiamo parlando di una persona che aveva a disposizione una tale dotazione di mezzi che all'epoca nessuno si poteva sognare.

L'edizione di un libro come il Mundus Subterraneus all'epoca aveva un costo immenso. Dai dati dell'epoca [GPIH, 2014] risulta che il salario di un "maestro da muro" era l'equivalente di circa 7 kg di pane, e quello di un garzone la metà. Più o meno alla stessa epoca il Valvasor [Forti, 2014] era venduto per l'equivalente di cinque-dieci tonnellate di grano e l'autore, per pagarsi l'edizione, dovette vendere il suo splendido castello Bogenšperk. Possiamo dunque stimare che l'acquisto di una copia di un simile libro richiedesse il totale salario di 5-10 anni di un manovale, qualcosa di simile a centomila euro attuali. Le tirature erano limitate e riprese più volte, ma in genere di circa 500 libri. È dunque facile capire quali fosse la strabiliante entità dei mezzi a disposizione del Kircher.

Ma evidentemente l'epoca non era favorevole a indagini "laiche" sulla Natura, come pochi decenni prima aveva potuto constatare Galilei: c'erano solo spazi e strumenti per tentare di interpretare i fenomeni naturali in un contesto immaginifico ed essenzialmente religioso.

Kircher ha uno spirito curioso, ma egli è soprattutto un gesuita controriformista e quindi la sua indagine cerca di ricondurre tutto ciò che vede ad uno schema aristotelico-cristiano, nettamente prescientifico e anche i suoi "esperimenti" sono semplici osservazioni di fenomeni naturali che gliene evocano altri, senza modelli interpretativi.

Jan Herbinius, Dissertationes... mundi subterraneis, 1678

Passiamo ora a Jan Herbinius [HERBINIUS, 1678], nato in Slesia, protestante, rettore di università in Polonia.

Il titolo del testo che andiamo a commentare in effetti non promette molto: "Dissertazione sulle Meravigliose Cateratte del Mondo, Sopra e Sotto-terra".

A pagina 24 si trova il capitolo "De Monte Aeolio" con un'altra incisione della zona di Cesi, evidentemente ripresa da quella di Kircher, ma con miglioramenti.

Il più rilevante e unico contributo significativo di Herbinius alla nostra discussione -e forse alla cultura umana- ci sembra il cartiglio

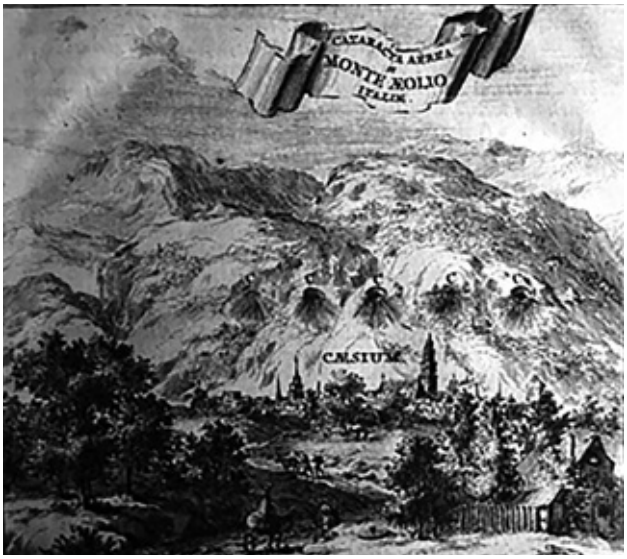


Fig. 16 - La zona di Cesi e il Monte Eolio nel De Cataractis.

in alto in cui si legge "Cataracta Aerea in Monte Aeolio Italia": l'idea di "cascata d'aria" è effettivamente molto bella.

Fig. 17 - Particolare del cartiglio sulla "Cateratta Aerea".

Per descrivere il fenomeno riprende in blocco il testo del Mundus Subterraneus, con ritocchi minimi, da "*Il sito di questo monte è fra Castello San Gemini e Interamnia*" sino alla nota sulla salubrità dell'aria di grotta. Tanto gli basta per alzare le vele e partire:

Nessun vento può dunque essere contenuto nelle caverne della terra, lì sotto mescolarsi in scontri, o in modo ancor più dubbio alla fine esser visto uscire, dato che questo era notissimo anche agli Antichi; per questo Virgilio (dice) Eolo dominare in Terra, e nelle sue caverne, come in carceri, frena i capricci e la foga dei venti.

Eneide, I, 131 [trad. Annibal Caro]
Eolo è suo re, ch'ivi in un antro immenso
Le sonore tempeste e i tempestosi
Venti, sì com'è d'uopo, affrena e regge.
Eglino impetuosi e ribellanti
Tal fra lor fanno e per quei chiostri un fremito,
Che ne trema la terra e n'urla il monte.

Dici dunque: come può muoversi il vento sottoterra, se non nello stesso luogo soffiare avanti e indietro? Risposta: entrando nelle caverne della terra e nuovamente uscendo in altro luogo. E in questo modo si ha una circolazione d'aria tanto continua quanto periodica di venti. Vi è infatti davvero circolazione di elementi dentro e fuori della Terra. I fuochi vanno nei loro luoghi nella Terra. Le acque entrano nella Terra attraverso cunicoli da acquedotto, e permeano, e dalla stessa nuovamente prorompono fuori da fonti sifonanti e scaturigini. Così anche nei polmoni delle caverne parimenti i venti spirano e respirano. Per questo l'aria, quieta sopra la terra, si scatena negli aerocarceri sotterranei; all'opposto, mentre le tempeste si scatenano contro di noi, nelle caverne della Terra si osserva una somma bonaccia e quiete. E poi di nuovo, in realtà, mentre la tempesta sopra di noi si placa, le ire dei venti (sotterranei) si fanno più acute, e iniziano a mescolarsi in battaglie non senza enormi ruggiti e orribile boato. E così l'aria e i venti continuano a muoversi in perpetuo in circolazioni fra sopra e sottoterra: né, in questo, deve esserci visto qualche cosa di assurdo.

Niente di assurdo?.. Qui siamo decisamente fuori d'ogni indagine naturalistica, si tratta solo di una dissertazione vaneggiante, con buffe pretese verso la poesia (si sentono echi di Lucrezio, Libro VI del De Rerum Natura) che nei passi di Kircher è, per fortuna, assente. Si ricordi che chi scrive era rettore di importanti università del nord Europa...

§ 3. A quale funzione è destinata questa circolazione dei venti nelle caverne della Terra? Risposta: a tenere in equilibrio la Terra, il cui corpo, essendo pesante è schiacciato dal proprio peso; allo stesso modo l'aria e i venti, permeando le vene e i carceri, contrastano da quella parte questa forza, in modo che qualsiasi parte fosse meno solida, alla fine la infrangono con gran scuotimento, ed escono fuori non senza gran turbine, come avviene abitualmente in ogni terremoto.

Naturalmente qui riprende le idee di Aristotele. Il testo sarebbe pure carino, ma anche se lo si prendesse sul serio non si capirebbe perché quando infine i venti escono da sottoterra, come dice nel paragrafo precedente, il suolo non collassi in immense doline, riempiendo di frane gli aerocarceri...

Un altro uso è che i venti che entrano negli ergastoli sotterranei, con sé portano là i molti pestiferi fetori corporei di cui è infetta l'aria, e quindi là vagando, in Idrocarceri e Pirocarceri, li dissipano deponendoli; finché finalmente espurgati e più salubri irrompono all'esterno, portandoci un'aria pura e temperata.

E questo è un vaneggiamento molto divertente, forse l'unica cosa meritevole di questo testo. Per inciso, è verissimo che l'aria in uscita da sottoterra in genere è purificata dal transito ipogeo, ma questo è dovuto al fatto che gli inquinanti (pollini o simili) agiscono come nuclei di condensazione in aria soprassatura e in breve precipitano al suolo. Altro che pirocarceri...

Anche Herbinius è un religioso, probabilmente una figura equivalente a quella del Kircher nell'ambito protestante, e condivide con lui finalismo, religiosità e smisurata arroganza. E pure, probabilmente, un vasto potere. Gli manca però l'acutezza del Gesuita nell'osservare le cose attorno a sé, e sembra ancora più prono di costui all'autorità dei libri.

La sua dissertazione, che fa ben capire in che ambienti sopravvivevano i veri naturalisti dell'epoca, ha interesse soltanto come curiosità storica.

PROMENADE

Le bozze di queste sorprendenti traduzioni hanno un po' circolato fra gli amici appassionati di sotterranei e tocca ad un'amica mostrarmi, in un sunto in italiano, che anche l'Agricola nel suo De Re Metallica parla di correnti d'aria sotterranee, questa volta in miniera [MACINI, 2003].

Ormai esperto, vado a leggere le pagine citate, naturalmente in latino.

Fig. 18 - La coltivazione mineraria per mezzo di fuochi sotterranei nel De Re Metallica. In quelle condizioni qualsiasi errore nella valutazione delle correnti d'aria ipogee sarebbe stato fatale.

Oibò, pare interessantissimo. Cerco in rete una traduzione, e la trovo solo in inglese, addirittura fatta da un futuro presidente degli Stati Uniti [Hoover, 1912]. Traduzione non precisa, come vedremo.

Passo quindi a tradurre la breve nota di Agricola che riguarda il nostro argomento, è questione di poco, anche se poi trovo una traduzione "in toscano" [MACINI, 2008].

Georgius Agricola, De Re Metallica, 1556

L'opera è uno straordinario libro di tecnica mineraria e metallurgica, un vero caposaldo nella storia della scienza e della tecnica. È soprattutto in assoluto il primo libro "tecnico" di questo genere, tanto che la novità del suo argomento colpì anche Erasmo da Rotterdam, che lo loda nell'introduzione.

Il testo che ci interessa è nel Libro V, a pagina 82.

D'altra parte l'aria si riversa spontaneamente nella caverne della terra, proprio tutte le volte che può penetrare in essa, e nuovamente ne sfugge via: ma questo avviene in diversi modi. E veramente nei giorni di primavera e d'estate entra nel pozzo più alto, scorre attraverso cunicoli e gallerie nascoste, e dalla bocca più bassa fuoriesce:

In latino i termini "pozzo più alto" e "più basso" sono rispettivamente "altior" e "humilior puteum", che vengono tradotti da Hoover in *deeper shafts*, pozzo più profondo, e *shallower shafts*, pozzo meno profondo. Evidentemente il futuro presidente non ha ben capito cosa intende Agricola, che invece è precisissimo nella descrizione del fenomeno.

In modo simile in quegli stessi giorni penetra nel cunicolo più alto e, intercettato un pozzo, defluisce in quello più basso e da esso fuoriesce. Ma durante l'autunno e l'inverno al contrario, entra nel cunicolo o nel pozzo inferiore, ed esce da quello superiore.

Qui Hoover avrebbe dovuto fare più attenzione, perché mentre la frase "altior puteum" poteva essere ambigua, quella di "altiorem cuniculum" non può certo essere tradotta in "cunicolo più profondo" e infatti traduce "higher tunnel" senza preoccuparsi dell'incoerenza col "puteum".

Le osservazioni di Agricola sono ineccepibili e, si noti, precedono di oltre un secolo quelle di Kircher; ma qui si aggiunge un dettaglio fondamentale:

In realtà questa variazione del flusso dell'aria si ha all'inizio della primavera e alla fine dell'autunno nelle regioni e località temperate: in quelle fredde invece avviene alla fine della primavera e all'inizio dell'autunno.

Questa nota, che sembra minore e, lì per lì, ovvia –e vedremo che neanche il grande Lomonosov ne coglie la profondità-, in realtà è strabiliante.

Vediamone il motivo.

Abitualmente assumiamo che la temperatura del sottosuolo sia pari a quella media annuale delle infiltrazioni, che a sua volta è praticamente uguale alla temperatura media annuale locale. E inoltre assumiamo che questa vari in modo sinusoidale, con massimo (boreale) a metà luglio e minimo a metà gennaio. Con queste ipotesi ci si aspetta che le inversioni della circolazione dell'aria avvengano esattamente nelle stagioni intermedie, quindi a metà aprile e a metà ottobre. Queste date, con queste assunzioni, non possono dipendere da latitudine o quota, perché la sinusoide della temperatura esterna oscilla attorno ad un valor medio che è proprio uguale alla temperatura della grotta.

Di primo acchito quindi l'osservazione di Agricola appare errata, le date devono essere le stesse sia nei paesi temperati che in quelli caldi. Invece...

Invece da pochi anni [BADINO, 2010] è stato osservato che in zone dove le temperature esterne sono per lunghi periodi sotto lo zero, il sottosuolo è sensibilmente più caldo della temperatura media esterna, dato che quando all'esterno si è molto sotto lo zero, l'acqua non infiltra affatto e sta fuori gelata. Si immetterà nel sottosuolo al disgelo, ma a quel punto entrerà con

una temperatura vicina allo zero e quindi viene "cancellata" la parte di sinusoide sotto lo zero. È quella che nel lavoro citato è chiamata "selezione dei fluidi": l'acqua può entrare sottoterra solo se è sufficientemente calda da scorrere.

Ne deriva che nei posti dove le precipitazioni sono nevose per una parte sensibile dell'anno, quindi ad alte latitudini o ad alte quote in montagna, le grotte e le miniere sono sensibilmente più calde della media attorno a cui fluttua la sinusoide della temperatura esterna.

Adeoque, in quelle località, per iniziare la circolazione estiva non basta arrivare a metà aprile, ma occorre aspettare ancora sinché la media della temperatura esterna non raggiunge la temperatura del sottosuolo, diciamo a fine primavera. E, allo stesso modo, in quei posti la circolazione invernale inizierà ben prima della metà di ottobre, esattamente come notato da Agricola circa mezzo millennio prima del lavoro citato...

Si noti tuttavia che lo stesso Agricola non tenta di spiegare i motivi di tutto questo. Sommo tecnico, gli basta descrivere come si comporta la Natura, perché quel che gli interessa è ventilare i cantieri sotterranei.

Ma in entrambi i periodi, prima di prendere con costanza il suo flusso consueto, l'aria ha frequenti inversioni, di solito per un periodo di quattordici giorni, ora entrando nel cunicolo o nel pozzo a quota più alta, ora in quello a quota più bassa. Ma tanto basta: passiamo ora a quanto resta.

Quattordici giorni? L'affermazione non ha nessuna plausibilità, la durata del periodo di instabilità varia a seconda della meteorologia delle stagioni intermedie e dipende pure dall'ora del giorno. Già abbiamo incontrato un'affermazione stranamente simile in Kircher, quando dice che i flussi dei venti ci sono solo *"nei mesi estivi, quattro (ore) prima di mezzodì e altrettante dopo quell'ora"*. Lì applicava una rigida quantificazione alle inversioni giornaliere, qui è Agricola che la applica a quelle stagionali.

Perché? La chiave sta forse nel fatto che si tratta della metà di un periodo lunare, e quindi in particolare, dell'intero periodo in cui la luna è crescente o decrescente. Sappiamo quanto in passato, con code che durano tuttora, fosse diffusa la convinzione che la Luna avesse influenza sulla mente delle persone e ancor di più sui fluidi, sia umani che terrestri: sanguinamenti, maree, imbottigliamenti, nascite, flussi di linfa... La posizione pareva antiscientifica anche a Galileo, che cercò, ahilui, di confutare l'influsso della Luna sulle maree terrestri [Galilei, 1632]; nella Quarta Giornata fa infatti dire a Salviati:

Ma tra tutti gli uomini grandi che sopra tal mirabile effetto di natura hanno filosofato, più mi meraviglio del Keplero che (...) abbia poi dato orecchio ed assenso a predominii della Luna sopra l'acqua, ed a proprietà occulte, e simili fanciullezze.

E qui Galilei prende il suo più grosso granchio, perché la Luna ha davvero influenza sulle grandi masse di fluidi terrestri... Ma, anche al giorno d'oggi, c'è un residuo di quanto fosse generalizzata l'idea di un influsso della Luna su di noi: sta nella parola "lunatico", che indica incostanza e imprevedibilità in tante lingue attuali.

È ragionevole ipotizzare che sia stato in questo antichissimo contesto interpretativo che il comportamento "lunatico" delle correnti d'aria (dalle quali, ricordiamo, dipendeva la sopravvivenza dei minatori, che spesso coltivavano accendendo fuochi in sotterraneo) fosse legato alla Luna. E in particolare a un suo periodo di crescita o decrescita. Chissà.

PROMENADE

Ho quindi tradotto il breve passo dell'Agricola in italiano, che è davvero molto interessante, ma mi stupisco ancora che non ci sia in Internet una traduzione italiana dell'opera che fonda l'ingegneria mineraria.

Localizzo la traduzione "in toscano" che ho citato più su [MACINI, 2008], ma è proprio un libro, possibile che non ci sia il solo testo?

Mi viene un'idea buona, e inserisco la frase "*Aer autem exterior se sua sponte fundit*" in un motore di ricerca.

Appaiono le solite righe di questi motori, in questo caso non sono molte, ma tutte echeggiano "Lomonosov De Motu Aeris in Fodinis Observato", un testo del 1750 del grande naturalista russo. Incredulo, apro il documento, appare uno scritto in latino con testo russo a fronte, e più avanti alcune figure straordinarie.

Ormai diventato esperto latinista, scorro il testo.

Ne emergono frasi come: "*aërem externum gravitate specifica superat*", "*aër in fodinis tempore hyberno specifice levior externo*", "*quam repente aër calorem acquirit et amittit*", "*fluidum in puteo altiore praeponderabit fluido in puteo humiliori*"...

È strabiliante, con ogni evidenza sono caduto quasi per caso sul primo che ha davvero capito come funziona la circolazione dell'aria sotterranea!

Non solo, ho intercettato Lomonosov perché citava Agricola, ma arrivato al fondo del suo testo ho un sussulto, le parole scritte mi sembrano staccarsi dalla pagina:

"*Athanasius Kircherus in Mundo suo subterraneo refert, dari in Italia quasdam speluncas, quae certis anni tempestatibus aërem effundunt, quod propositae hujus theoriae auxilio dilucidari posse censemus*".

Che tradotto suona: "Athanasius Kircher nel Mundus Subterraneus riferisce che esistono in Italia delle grotte che in certi anni soffiano aria di tempesta; riteniamo che la teoria che abbiamo esposto possa essere di aiuto per spiegare questo fenomeno". Incredibile.

Il lavoro è davvero finito.

Spinto dal vento sotterraneo ho chiuso il cerchio, e scoperto che Lomonosov mi aveva preceduto di 264 anni nello spiegare il fenomeno descritto da Kircher.

Vediamo cosa dice.

Fig. 19 - Michail Vasil'evič Lomonosov in un'incisione del 1757 (da ru.wikipedia.org).

Michail Lomonosov, De Motu Aeris in Fodinis Observato, 1750

Il testo che ci interessa è l'articolo di una rivista, "Nuovi Commentari dell'Accademia Imperiale delle Scienze di Pietroburgo", a pagina 26, che fu stampato nella stessa città nel 1750.

Quando nell'anno 1740 passai un po' di tempo a Freiberg, vicino a Meissen, dove lavoravo sulla chimica e l'arte dei metalli, mi capitò qualche volta di andare ad osservare il moto dell'aria nelle miniere, che nei pozzi, cunicoli e gallerie profonde anche con cielo tranquillissimo e

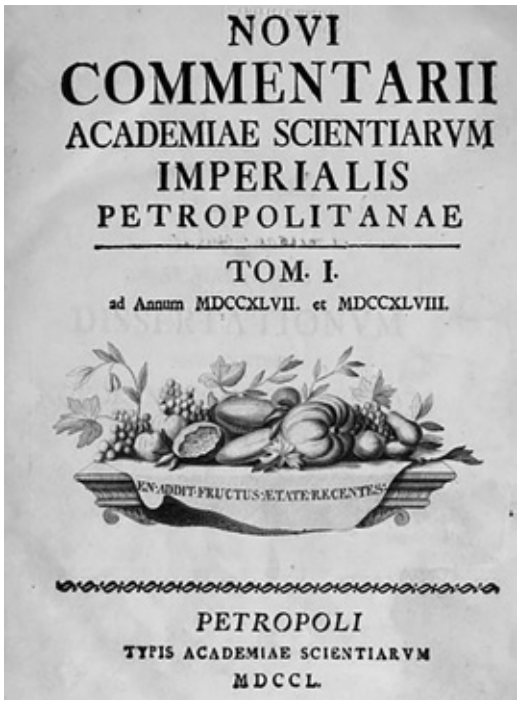


Fig. 20 - Frontespizio del "Novi Commentarii..." dove è apparsa la prima teoria moderna della circolazione d'aria convettiva in sotterraneo (da books.google.it)..

senza che nessuna macchina pneumatica lo spingesse, riusciva ogni tanto a spegnere le lampade che si usavano in galleria. Non riuscii ad indagare adeguatamente le proprietà di questo fenomeno dato che ero intento ad altre cose che riguardavano la tecnica dei metalli e dappertutto mi occorreva fare annotazioni. In verità quando tornai in patria avevo consultato il libro De Re Metallica dell'Agricola, e avevo trovato ben descritto il fenomeno che ho citato. Le parole del lodato autore sono:

"Aer exterior (...) modo in humiliorem".

Questa è dunque la descrizione integrale che ci fa l'espertissimo specialista del Re Metallica, che vedremo essere in accordo con le leggi dell'aerometrica e dell'idrostatica; nessuno dubitava che la teoria di questo fenomeno potesse accordarsi con queste stesse leggi e che si conciliasse con il metodo matematico.

In verità Lomonosov non scrive "metodo matematico" –come è reso anche in russo dall'espertissimo traduttore- ma "*Geometrarum methodo*", vale a dire il "metodo dei geometristi", e infatti andrà costruendo una dimostrazione di tipo Fisico-Geometrico.

Definizione 1

§ 1. "Pozzo" è una galleria profonda di dimensioni più ridotte, perpendicolare AB all'orizzonte, o rispetto allo stesso più o meno inclinata CE.

Definizione 2

§ 2. È detta "galleria profonda" BE quella che da una estremità ha il pozzo B, dall'altra estremità l'altro pozzo E e, scavata orizzontalmente, li congiunge o li mette in comunicazione.

Corollario

§ 3. La miniera, che consta di due pozzi, congiunti o comunicanti da una galleria profonda, riporta esattamente a tubi comunicanti, dei quali altri Fisici hanno trattato, per dimostrare l'equilibrio dei fluidi, per quale ragione i corpi fluidi infusi in questo modo nella miniera debbano ottemperare alle leggi dell'idrostatica come nei sifoni.

Scolio

§ 4. I pozzi AB e EC si comportano come le parti verticali dei sifoni, mentre la galleria profonda fa la sua base.

Definizione 3

§ 5. È detto "pozzo alto" CE quello la cui apertura superiore C è nelle parti più elevate del monte. È "pozzo basso" AB quello la cui apertura superiore A sta nelle parti più basse del monte.

Corollario

§ 6. Se entrambi i pozzi e la galleria profonda sono riempiti di un fluido che supera la gravezza specifica dell'aria esterna, il fluido nel pozzo alto supererà in peso il fluido nel pozzo basso.

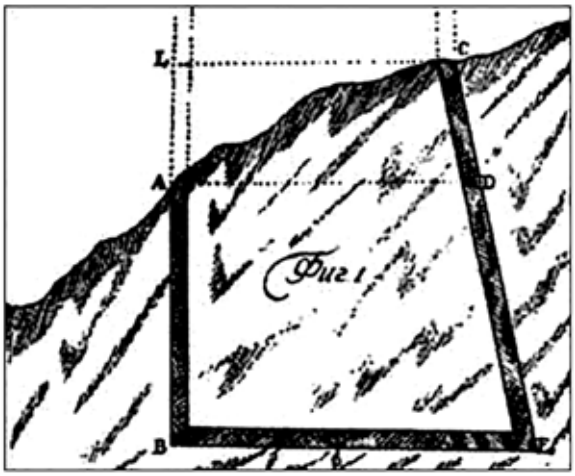


Fig. 21 - La Figura 1 del testo di Lomonosov.

Emerge già che l'autore ha individuato chiaramente il bersaglio e ci sta puntando dritto contro. Sin qui lo schema è molto familiare agli speleologi, che sanno che il fatto che una grotta inizi con un tratto verticale od orizzontale non ha particolare influsso sulla corrente d'aria. Per Lomonosov non è così. Con le definizioni 1-3 ha descritto un tipo di miniera che è coltivata da due pozzi che arrivano sul livello interessante. I vuoti che crea l'estrazione del minerale non sono "una galleria", ma una "fossa", come se venisse coltivata a cielo aperto. Ma essendo là sotto, per l'area estrattiva Lomonosov utilizza il termine tecnico "*fossa latens*", fossa nascosta.

Ma esiste un altro tipo di miniera, coltivata per gallerie su più livelli, e quindi l'autore passa a schematizzare anche questo.

Definizione 4

§ 7. "Cunicolo" è una galleria orizzontale FG o HK, che si apre nella parte decliva del monte, è detto "alto" FG quello superiore, che occupa le parti più elevate del monte, "basso" HK, quello che sta in quelle inferiori.

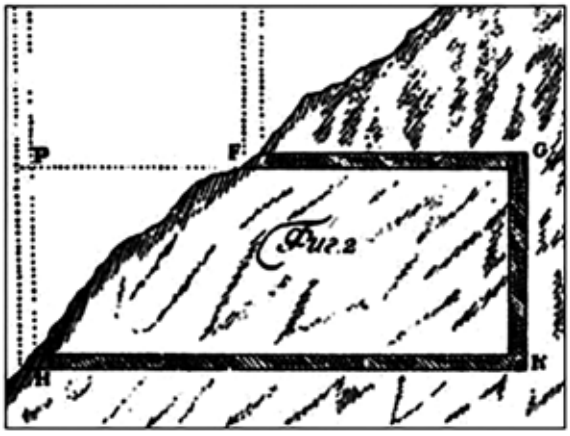


Fig. 22 - La Figura 2 del testo di Lomonosov.

Definizione 5

§ 8. "Pozzo interposto" GK è quello che congiunge o mette in comunicazione il cunicolo alto FG con quello basso HK.

Nella traduzione in toscano del 1563 [MACINI, 2008], per indicare questa struttura che congiunge i due livelli di coltivazione l'ignoto traduttore utilizza il termine "pozzo che tramezza".

Qui si noti la preoccupazione del dire "che congiunge o mette in comunicazione", per sottolineare che non importa che il collegamento fra i livelli sia o no percorribile, ma solo che esista, e che l'aria possa percorrerlo. Questo dettaglio, in questo tipo di miniere, è molto importante. Lomonosov lo ripeterà altre volte.

Corollario

§ 9. Anche in questo caso, la miniera FGKH è rappresentabile con tubi inclinati sull'orizzontale, per la qual cosa nell'interpretazione del loro comportamento può servire l'equilibrio dei corpi fluidi.

Esperienza 1

§ 10. L'aria nelle miniere ha lo stesso grado di calore qualunque sia la stagione dell'anno, giacché i sotterranei non sentono ingiurie né di freddo né di calura. Al contrario l'aria esterna è dominata d'inverno dal freddo, d'estate dal caldo.

Il lodatissimo autore è arrivato al punto chiave: la temperatura di grotte e miniere è sostanzialmente costante (checché sostenesse Aristotele), quella esterna no, le deduzioni successive si appoggeranno su questo fatto. Approfondiamo i termini.

"Calore" è il termine storico per indicare l'energia termica. È un termine direttamente derivato da "calorico" e ne è così simile che oggi molti ricercatori –compreso chi scrive- cercano di eliminarlo dalla letteratura scientifica come viene suggerito da autorevoli fisici [Bohren, 1998]. All'epoca di Lomonosov, e ancora nei decenni successivi, non era chiara la distinzione fra "calore-energia termica" e "temperatura". Tutt'oggi i due concetti sono ben confusi in testa alla massima parte delle persone, come mostrano frasi prive di significato come: "che calore oggi", "temperatura fredda o calda", "senti che calore" e simili.

Il termine stesso "temperatura" evoca la misura di quanto qualcosa sia "temperato", ed è rimasto per secoli un concetto molto confuso e sfuggente, proprio perché è mescolato inestricabilmente con le sensazioni di caldo e freddo. E infatti la percezione fisiologica dei disagi termici ha con la temperatura una relazione modesta ma molto complessa. Pochi saprebbero spiegare come mai l'acqua a 5 °C è fredda in modo mortale, mentre l'aria alla stessa temperatura non minaccia nessuno, o perché il ghiaccio sia così più freddo di una roccia a 0 °C, o perché in sauna a 100 °C si stia benissimo ma in un ambiente come le grotte di Naica (47 °C, umidi) ci si ustioni la pelle...

L'invenzione del "termometro" precede addirittura la formazione di un concetto preciso di temperatura, come è ben testimoniato dal fatto che si chiama in questo modo e non "temperaturometro".

Insomma, si tratta ancora oggi di concetti di comprensione difficile per persone colte, e quindi un quarto di millennio fa erano praticamente inattaccabili.

Lomonosov è proprio uno degli scienziati che, nel corso del '700, hanno contribuito a chiarire queste idee. Vale la pena notare che lui, dove oggi scriveremmo "temperatura", scrive "*gradum caloris*", ("grado dell'energia termica") che, alla luce della formulazione del Secondo Principio, è un termine molto, molto più preciso. Purtroppo non lo abbiamo adottato, preferendogli il dubbio termine di "temperatura"...

Corollario

§ 11. Quindi d'estate l'aria delle miniere è più fredda di quella esterna, d'inverno la stessa è più calda, e ne deriva che d'estate la sua gravezza specifica è maggiore di quella esterna, d'inverno ne è minore.

Eccoci al secondo punto chiave: a causa di queste variazioni del "grado di energia termica", le densità interne ed esterne sono diverse.

All'epoca non si usa il concetto di densità ma quello di peso specifico, *specifice gravior*, e quindi per accentuare il fatto che si tratta di concetti ancora in via di formazione ho qui utilizzato un termine desueto –che però appare per due volte nella Commedia-, "gravezza", dato che il termine "gravità", che all'epoca era strettamente il nostro concetto di forza-peso, ora ha assunto un altro significato.

Esperienza 2

§ 12. L'aria esterna è immessa nelle miniere d'estate e d'inverno sia spontaneamente sia artificialmente, recando con sé sia il caldo che il freddo acquisito all'esterno, e riprende da sé la medesima temperie, che già era presente nelle gallerie profonde, o meglio quella che aveva l'aria che in precedenza riempiva la miniera.

Scolio

§ 13. Quanto rapidamente l'aria possa assumere o rilasciare calore ce lo dice la respirazione in un momento qualsiasi dell'anno, quando inspiriamo aria fredda nei polmoni, la restituiamo calda, e sentiamo tepore portando una mano in prossimità della bocca emanante, e invece togliendola sentiamo un lieve freddo.

Qui scrive i due capitoli *Experientia* (potremmo dire: "osservazione" o "constatazione") e *Scolio* ("commento a margine"), per superare una grossa difficoltà che gli si è parata dinanzi: come fa l'aria entrante ad assumere subito la temperatura dell'ambiente sotterraneo? Privo dei concetti di energia termica, capacità termica specifica, diffusività e conduttività, e con idee vaghe sulla temperatura, Lomonosov non ha nessuna possibilità di dimostrare matematicamente quanto afferma, e quindi cambia bruscamente registro, li constata come fatti accessori indiscutibili e procede oltre, puntando al risultato finale.

Corollario

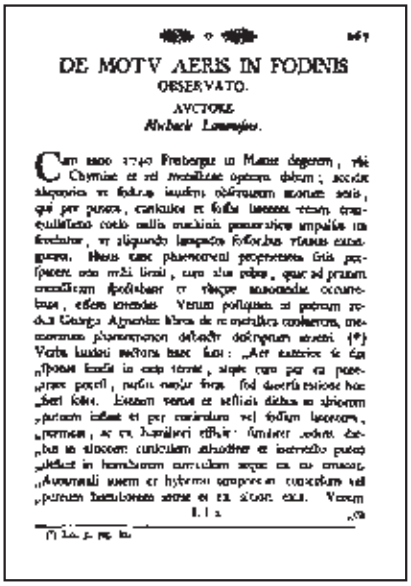
§ 14. L'aria, che entra nelle miniere d'estate, ne esce all'esterno d'inverno per maggior gravezza specifica di quella esterna, quella stessa che prima era minore.

Teorema 1

§ 15. Durante l'estate l'aria deve entrare nel pozzo alto CE e uscire dal pozzo basso AB

Dimostrazione

L'aria nelle miniere in estate ha gravezza specifica maggiore di quella all'esterno, per cui l'aria nel pozzo alto CE ha un peso maggiore dell'aria nel pozzo basso AB. Di conseguenza da C scende verso D, in modo da cercare di acquistare equilibrio con l'aria nel pozzo AB; dopo la discesa espelle dal pozzo AB una quantità d'aria eguale a quella che conteneva nella parte CD del pozzo EC. Intanto l'aria esterna scende per il suo proprio peso nel pozzo EC sino a D, e acquisirà lo stesso grado di calore che ha la restante parte dell'aria contenuta nella miniera, perciò (quest'aria) sarà di gravezza specifica maggiore che quella esterna. Di conseguenza l'aria nel pozzo CE, per la stessa ragione di prima, avrà un peso maggiore dell'aria contenuta nel pozzo AB e, scendendo sino a D, espelle da A l'aria del pozzo AB, mentre a sua volta l'aria esterna entra nella parte CD dal pozzo EC. E il moto dell'aria continuerà per questa ragione per tutto il tempo in cui il contenuto d'aria della miniera rimarrà con gravezza specifica maggiore dell'aria esterna, perciò, d'estate l'aria entra nell'ingresso alto ed esce da quello basso. QED



DE MOTV AERIS IN FODINIS
OBSERVATO.
AVCTORE
Michaele Lomonjow.

Fig. 23 - La prima pagina dell'articolo in cui Lomonosov enuncia la teoria della circolazione convettiva del vento ipogeo (da books.google.it).

Fatto. Imposta la trattazione modellando la miniera come un sifone a forma di U pieno di acqua e di "gravezza", mentre oggi ragioneremmo in termini di pressione e perdite di carico, il che ci permetterebbe non solo di determinare il verso della circolazione, ma anche di stimarlo quantitativamente. È curioso come l'autore ragioni per masse discrete che si spostano, ne muovono altre, mutano e così via. Raggiunge il risultato più con un processo logico applicato ad elementi fisici che con un processo fisico. Ma appunto, è il Primo a Raggiungerlo...

Scolio

§ 16. Uscita l'aria dal pozzo basso AB, quella che la segue non può far agire interamente il suo peso e restituire all'equilibrio la miniera; infatti intanto che la prima fluisce via dall'apertura A verso L, il calore si rarefa dato che l'aria che rimane si mescola e disaggrega.

Intravede che l'aria interna uscente va all'equilibrio con quella esterna ma non sa bene perché e invoca un suo "disaggregarsi" (*distrahitur*).

Teorema 2

§ 17. Durante l'estate l'aria deve entrare nel cunicolo alto FG e uscire dal cunicolo inferiore HK.

Dimostrazione

Su entrambi i pozzi di apertura H e F insistono delle colonne d'aria che si estendono all'esterno. Quella che insiste sull'apertura F è più breve della parte HP dell'altra che insiste su H, che sostituisce la mancanza della colonna d'aria contenuta nel pozzo intercettante GK. Dal momento che, d'altra parte, d'estate nelle miniere vi è un'aria con gravezza specifica maggiore di quella esterna, per questo motivo la parte di colonna atmosferica contenuta nel pozzo intercettante GK sarà di gravezza specifica maggiore della colonna PH. Le restanti parti delle colonne esposte all'esterno sono della stessa altitudine e gravezza specifica (infatti sono sottoposte grosso modo alla stessa parte dell'atmosfera e si estendono sino allo stesso termine). Per questo motivo la colonna d'aria che insiste sulla apertura F con una parte di gravezza specifica maggiore GK ha peso maggiore della colonna che insiste sull'apertura H con una parte di gravezza specifica minore HP. Di conseguenza, rotto l'equilibrio, l'aria nel pozzo intercettante GK scende nel cunicolo inferiore HK, e una quantità d'aria uguale ad essa ne esce attraverso H. Nel pozzo intercettante GK l'aria fluisce dal cunicolo FG, e in questo arriva quella esterna; che, una volta raffreddata, entra nel pozzo GK, e rotto nuovamente il suo equilibrio esce fuori dal cunicolo HK, e così l'aria continuamente entra dal cunicolo superiore ed esce da quello inferiore, sinché l'aria esterna rimane di gravezza specifica minore di quella interna, vale a dire sinché dura la calura estiva. QED

Perfetto. Si noti come la struttura a piani di gallerie gli appaia significativamente diversa dall'altra a "fossa nascosta" e quindi, per ricondursi al caso del sifone a U, include le colonne d'aria atmosferiche che insistono sugli ingressi: un approccio molto da matematico, ma assolutamente ineccepibile.

Lomonosov a questo punto deve fare i conti con le affermazioni di Agricola relativamente alle date di inversione termica nei paesi freddi e in quelli temperati, che segnalavano quelle che erano sicuramente antiche tradizioni minerarie. Si tratta di differenze che, come abbiamo visto, sono dovute a raffinati dettagli dell'accoppiamento termico fra sottosuolo e acque meteoriche.

Corollario 1

§ 18. Dove l'estate dura più a lungo, lì anche l'aria conserva più a lungo la sua direzione del moto, cioè entra dal pozzo o dal cunicolo a più alta quota ed esce da quelli più bassi. All'opposto, dove l'estate è breve, là anche il flusso dell'aria dura un tempo più breve.

Affermazione apparentemente ineccepibile ma, come abbiamo visto più su, sottilmente errata. Infatti dove l'estate dura più a lungo, si ha anche di conseguenza che la temperatura

del sottosuolo è più alta, e dove l'estate dura meno, è più bassa. Di per sé quindi risulta che il periodo di circolazione estiva rimane lo stesso, vale a dire sei mesi. C'è invece un effetto nascosto: nei luoghi più freddi, vale a dire dove l'inverno dura più a lungo, il sottosuolo è sensibilmente più caldo della media esterna perché l'acqua invernale, gelata, non si può infiltrare. Di conseguenza il periodo di circolazione dell'aria di tipo estivo finisce per essere più corto...

Corollario 2

§ 19. Non è cosa straordinaria che nei luoghi temperati questa circolazione d'aria inizia al principio della primavera e cessi alla fine dell'autunno, e che nei luoghi freddi invece il suo inizio sia alla fine della primavera e termini all'inizio dell'autunno.

Effettivamente lì per lì non pare una cosa straordinaria, ma è vera per un motivo tutt'altro che banale...

Teorema 3

§ 20. Durante l'inverno l'aria deve entrare nel pozzo più basso AB e uscire dal pozzo più alto EC.

Dimostrazione

Il pozzo CE è più in alto del AB, per ipotesi, e d'inverno l'aria nelle miniere ha gravezza specifica minore di quella esterna. Quindi la parte AL della colonna che insiste sull'estremità B ha una gravezza specifica maggiore della parte DE della colonna che insiste sull'estremità E. Per questo motivo la colonna che insiste sull'estremità B ha un peso maggiore di quella che insiste sull'estremità E, e ne deriva che l'aria esterna entra nel pozzo AB per l'apertura A e quella che occupa le altre parti della miniera esce fuori dall'apertura C. E poiché l'aria che entra d'inverno nella miniera è portata ad una maggiore gravezza specifica, per tal motivo l'equilibrio rimane sempre spezzato e d'inverno l'aria entra nel pozzo più basso ed esce dal pozzo più alto. QED

Corollario 1

§ 21. Per questo motivo la miniera FGHK è analizzata per la stessa ragione come la miniera ABCE, proprio la parte della colonna d'aria HP esposta all'atmosfera esterna, insistente sull'apertura H, durante l'inverno ha gravezza specifica maggiore della parte GK, che riempie il pozzo intercettante, per il qual motivo d'inverno l'aria entra nel cunicolo inferiore ed esce da quello superiore.

Corollario 2

§ 22. L'aria esterna entra continuamente dai cunicoli e pozzi più bassi, e fuoriesce da quelli superiori fintanto che permane la gravezza specifica interna; di conseguenza dove dominano molti mesi invernali, lì anche il moto dell'aria dall'apertura inferiore a quella superiore deve durare più a lungo rispetto a dove l'inverno è più breve. Ne deriva che nelle zone fredde l'aria deve iniziare a circolare entrando dai pozzi o cunicoli inferiori e uscendo dai pozzi o cunicoli superiori dall'inizio dell'autunno e questa stessa deve terminare all'inizio della primavera. Sotto un cielo temperato questo moto deve iniziare alla fine dell'autunno, e terminare all'inizio della primavera.

In questo teorema e nei corollari Lomonosov inverte semplicemente i ragionamenti precedenti senza aggiungere nulla di nuovo; gli è proprio sfuggita la profondità di questo dettaglio e quindi riafferma l'ovvietà dell'affermazione di Agricola, che non è ovvia.

Corollario 3

§ 23. In primavera e in autunno, quando lottano il caldo e il freddo, l'aria esterna ogni tanto diventa più calda, ogni tanto più fredda di quella interna che occupa la miniera, e

avviene così che l'esterno ogni tanto diventa più di minor gravezza specifica, ogni tanto di maggiore. Non è quindi straordinario che in quelle stagioni il moto dell'aria che permea le miniere, si alterni in opposti versi per una durata di circa quattordici giorni.

In effetti non è affatto strano che in quei periodi ci siano frequenti cambiamenti del verso della circolazione, ma non è vero che questo avvenga per mezzo periodo lunare, ed è abbastanza strano che venga riaffermato senza discussione. Lomonosov doveva rendersi ben conto del fatto che questa regolarità del periodo di inversione era in contraddizione con tutte le sue argomentazioni per spiegare il fenomeno. Purtroppo, dato che lo sostiene Agricola, che nell'introduzione a questo lavoro è chiamato "lodato autore", e Lomonosov non ha fatto osservazioni specifiche, non può far altro che prenderne atto aggiungendo un "*circiter*" che renda plausibile la cosa.

Ci si può chiedere: ma perché non parla delle inversioni notturne, quando nelle stagioni intermedie la temperatura esterna diventa minore di quella della grotta, mentre ne parla Kircher? C'è una differenza fondamentale fra il contesto in cui Kircher fa le sue osservazioni in grotte che si aprono nelle cantine di palazzi, e quello in cui le fa Agricola, in miniera.

È plausibile che questo sia legato ai momenti in cui era osservato il fenomeno; mentre le osservazioni nelle grotte di Cesi era fatte anche -e forse soprattutto- durante la notte, i minatori erano quasi sicuramente attivi solo durante il giorno. Non è quindi assurdo che gli uni abbiano notato soprattutto le inversioni giornaliere, mentre per gli altri erano importantissime solo quelle stagionali, oltre ovviamente alle fasi "lunatiche".

Scolio

§ 24. Riteniamo che questa teoria del moto spontaneo dell'aria nelle miniere non sarà inutile per i preposti di miniere e gallerie. Infatti (se lo permette il luogo) riconducendo pozzi, cunicoli e fosse a questo modello si possono risparmiare sia lavori che spese, dal momento che non si spende poco denaro per costruire ed azionare macchine pneumatiche al fine di espellere l'aria sotterranea infetta da vapori.

Un'affermazione tutt'altro che peregrina, che mostra un Lomonosov ben attento alle applicazioni pratiche della sua interpretazione teorica di un fenomeno naturale, benché formulata con un linguaggio strettamente geometrico che potrebbe far credere a una indifferenza dell'Autore nei confronti delle applicazioni al mondo reale.

Scolio 2

§ 25. Non d'altro che da questo lavoro ci si può aspettare la spiegazione di altri fenomeni naturali. Athanasius Kircher nel Mundus Subterraneus riferisce che esistono in Italia delle grotte che in certi anni soffiano aria di tempesta e producono vento nei terreni vicini, e riteniamo che la teoria che abbiamo esposto possa essere di aiuto per spiegare questo fenomeno.

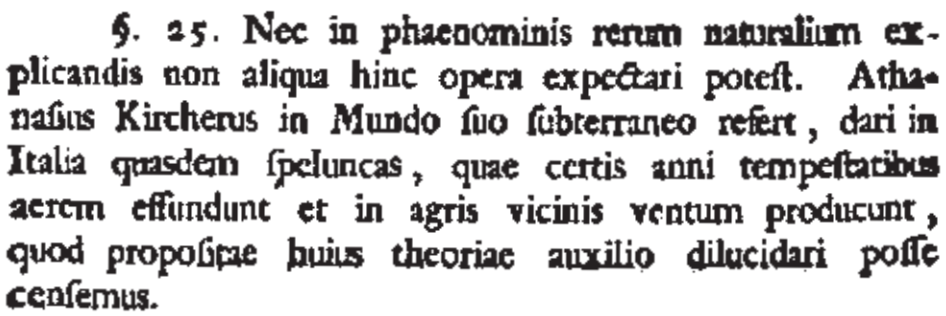

§. 25. Nec in phaenominis rerum naturalium explicandis non aliqua hinc opera expectari poteſt. Athanaſius Kircherus in Mundo ſuo ſubterraneo refert, dari in Italia quasdem ſpeluncas, quae certis anni tempeſtatibus aerem effundunt et in agris vicinis ventum producunt, quod propoſitae huius theoriae auxilio dilucidari poſſe cenſemus.

Fig. 24 - Lo Scolio finale dell'articolo di Lomonosov.

E qui chiude in bellezza estendendo il campo della sua teoria al mondo naturale, con un fenomeno citato in un libro che Lomonosov avrà apprezzato per molti aspetti, ma certo non per la profondità delle sue teorie fisiche.

E con questo abbiamo così fornito la prova documentale che il primo serio studioso delle correnti d'aria nelle grotte, dove forse non è mai stato in vita sua, è stato Michail Vasilievich Lomonosov da San Pietroburgo, Impero Russo...

Fig. 25 - Lomonosov è stato il primo vero studioso della micrometeorologia sotterranea.

CONCLUSIONI

Abbiamo così concluso il nostro viaggio, che ci ha permesso di scoprire -o meglio, di riscoprire- che già da molto secoli i flussi d'aria in uscita dalle montagne hanno attirato attenzione anche al livello dei massimi naturalisti dell'epoca, suscitando osservazioni e teorie che sono poi andate completamente dimenticate.
Sino al XVII secolo le citazioni delle correnti d'aria sotterranee sono interpretate in una chiave puramente aristotelica, con blandi tentativi, in Kircher, di trovare analogie sperimentali riproducibili in laboratorio.
Un secolo prima di lui Agricola si limita ad un'ottima descrizione del fenomeno osservato nelle miniere, senza cercarne il motivo, che pure doveva avere intravisto.
Bisogna attendere uno dei maggiori naturalisti mai esistiti, Michail Lomonosov, perché arrivi finalmente un'interpretazione corretta del fenomeno, pur con le estreme difficoltà poste dall'assenza di un quadro concettuale di tipo termodinamico. Lomonosov riesce ad aggirare in modo estremamente brillante queste difficoltà con una trattazione di tipo "geometrico", per masse discrete, e utilizzando quelli che erano i primi abbozzi dei concetti della termodinamica.
È difficile credere che nella letteratura europea esistano chiare descrizioni delle correnti d'aria sotterranee precedenti il De Re Metallica. Infatti il testo di Agricola è praticamente il primo testo tecnico mai apparso in questa parte del mondo, dove sino a quell'epoca si era sempre ritenuto indegni di memoria scritta i lavori e le osservazioni di chi faceva lavori pratici.
Le speranze di trovare testi più antichi che riguardino specificamente le correnti d'aria in grotta sono ancora minori. Abbiamo visto che Kircher fa riferimento a discussioni fra fisici riguardanti il Monte Eolio, testi che sarebbe interessantissimo ritrovare ma che paiono essere note a lui contemporanee. Inoltre cita una grotta sul Mont Ventoux evidentemente sulla base di un testo a noi sconosciuto. È possibile che ci sia qualche lavoro precedente? Difficile crederlo, ormai siamo al limite dell'invenzione della stampa, i cui enormi costi costringevano gli editori a concentrarsi su testi "importanti".
È probabile invece che ricerche nel mondo della letteratura naturalistica dell'Estremo Oriente possano portare a scoperte estremamente interessanti.

BIBLIOGRAFIA

AGRICOLA G., 1550*: De Re Metallica. (CLUEB, 2008)*

ALBERTI L., 1596*: Descrittione di tutta l'Italia*. Ugolino ed. Venezia 1596.

ARISTOTELE, 2003*: Meteorologia,* Bompiani ed., Milano 2003, pp. 266.

BADINO G., 2010*: Underground Meteorology, What's the weather underground?* Acta Carsologica, vol. 39/3, Ljubljana 2003.

BOHREN C., ALBRECHT B., 1998*: Some Irreverent Thought About Heat,* in "Atmospheric Thermodynamics". Oxford University Press, pp. 402.

DI MATTEO L., MENEGON S., ROSSI A., 2015*: Understanding karst environments by thermo-hygrometric monitoring: results from the Martani chain karst system (Central Italy)*. In: 42° IAH Congress (AQUA2015).

FAGE L., 1981*: Spélèo Sportive dans les Monts de Vaucluse",* Edisud, pp. 96.

FANTATO R., 2015*: comunicazione privata*.

FORTI P., 2014*: comunicazione privata*.

GALILEI G., 1612*: Discorso intorno alle cose che stanno su l'acqua o che in quella si muovono*.

GALILEI G., 1632*: Dialogo Sopra i Due Massimi Sistemi del Mondo*. Einaudi, Torino 1970, pp. 602.

GPIH.UCDAVIS.EDU, 2014.

HERBINIUS, 1678*: Dissertationes de Admirandis Mundi Cataractis Supra et Subterraneis"*.

HOOVER H., 1912*: De Re Metallica"*. Mining Magazine

http://classics.mit.edu/Aristotle/meteorology.html.

KIRCHER A., 1665*: Mundus Subterraneus in XII Libros digestus, Amstelodami 1665,* rist. anast. Forni ed., Bologna 2004, pp. 516.

LOMONOSOV M., 1732*: De Motu Aeris in Fodinis Observato,* Novi Commentar. Acad. Petropolitanae, Vol I, 267.

MACINI P., MESINI E. (a cura di), 2003*: De re metallica (1530-1556). Un dialogo sul mondo minerale e un trattato sull'arte de' metalli,* Ed. CLUEB, pp. 542.

MORELLO N., 2014*: Un inquadramento della Cosmologia di Kircher"*. in "Le Scienze della Terra", Treccani online.

PEZZOLATO P., PICCINI L., 1994*: Sima Aonda 3 "Fummifere Acque",* Progressione 30: 61-63, Trieste giu. 1994.

REGIONE UMBRIA, 2015*: http://portal.regione.umbria.it/speleo/default.asp*.

RHO F., 1829*: Il viaggio anacoretico d'Italia*. Chiari.

VAI G.B., 2004*: Premessa – Foreword, In Mundus Subterraneus"*. A. Forni Ed., Bologna 2004: 7-9.

TESTI ORIGINALI

APPENDICE A
A. KIRCHER, MUNDUS SUBTERRANEUS
[i numeri fra parentesi si riferiscono alla pagina dell'originale]

(115) Nam uti Oceaneae relationes ferunt, in omnibus fere Promontoriis, ubi magna fluctuum ex Aestu Maris Currentium allisio sit, ut plurimum ex Montium fissuris vehementissium Ventum proruentem observari.

Non dicam hic de Monte ventoso in Comitatu Venusino, Carpentoractum imminenti, ex cuius Specubus vehementes Ventorum flatus erumpere notius est, quam dici debeat. Sileo innumeros alios Aerophilaciorum in Europa nullibi non obvios effectus.

Addam tantum quae propria experientia in Italia comperi.

Cum anno 1658 Lauretanam Deiparae Domum devotionis causa visitarem, et multa per iterum omnibus notissimum, plerisque tamen ignota Naturae miracula in eo obvia observarem; inter caetera vero multa de Eolium Monte Caesiorum intelligerem, operae pretium me facturum existimabam, si causas eius occultas et omnium opinione impenetrabiles scrutarer.

(...)

Examinatis itaque omnibus instituto meo opportunis Catadupae circumstantiis, Interamnium reversus, postero die ad Aeolium Montem profectus sum, ut quae miranda de eo intellexeram, αυτοπηζ explorare, singulorum effectuum causas reddere possem. Caesii itaque summa benevolentia a Primoribus loci exceptus, totius Montis constitutionem partim propria industria exploratam, partim incolarum instructione didici.

Situs huius Montis est inter Castellum S. Gemini et Interamnium, vulgo Terni, ex Ortu in Occasum longa octo milliarium Montium catena protensus; ut ex Mappa hic apposita patet. Mons totus saxeus, ita a natura compositus, ut ingentium molium saxa uni alteri superimposta miroque Naturae artificio et industria compacta cernantur. Montis dorso Oppidum incubat, nomine Caesii, a primis, uti dicunt, antiquae Caesiae Domus Ducibus fundatum. Hunc itaque Montem iure merito Montem Aeolium, ob Ventorum quos certo tempore volvit turbines, appellandum duxi. Siquidem tempore Aestivo per omnes fissuras et rimas vehementissimos efflat Ventos; ita ut in adjacente Oppido memorati Incolae, mira quadam industria Canalium ventos, non secus ac in Civitate aquaductuum Canales, intra Cryptas et cellaria hinc inde disponant, tum ad vinum et aquam, tum ad fructus omnis generis gratissimo frigore imbuendos; atque adeo ferocientis Naturae vim in suavissimas delicias vertant. Spectantur autem in Nobilium domibus Canales adeo apte dispositi, atque epistomiis tam affabre instructi, ut Ventorum impetum pro libitu temperare possints additis quoque ostiolis sportulisque, intra quas repositi vel potus vel esculenta summa frigoris vehementia tantum non in glaciem convertuntur.

Antequam vero ad causarum scrutinium me accingam, primo omnes effectum circumstantias praemittam, quae ita sese habent:

(116) Primo, Ventorum exspirationes, non quolibet anni die, nec qualibet diei hora, sed aestivis solummodo mensibus, quatuor ante Meridiem, et totidem post horis, comperiuntur; quibus peractis, Ventorum flatus paulatim et sensim flaccescentes deficiunt; nocturno vero tempore vix ullum Venti apparet vestigium: ita quidem, ut pro aetus diurni maiori vel minori vehementia, jam plus, jam minus sentiatur Spirituum inclusorum agitatio et exsufflatio.

Secundo, Hybernis Mensibus oppositos aestivis sortiuntur effectus Spiracula. Nam, si quispiam strophiolum, aut aliud quidpiam, orificiis canalium applicet, id, mirum dictu, non jam Vento expirante protruditur, sed introrsum, nescio qua abdita vi, attrahitur, et tanto quidem vehementius, quanto frigus fuerit intensius.

Tertio, aeris exsufflati qualitas ea est, quae rigore venti homines in istiusmodi cryptis commorantes, in febriles alterationes minime urgeat, uti aliis in locis accidere solet; sed quemadmodum siccitate impolluta gaudet, ita hominibus mirum in modum ad sanitatem vitaeque prolongationem conducit.

Atque hae sunt circumstantiae, quas praemittendas duxi, ut iis insistentes tandem veras prodigiorum huiusmodi effectum causas venemur.

Dici vix potest, quantum in huius Montis natura exploranda, naturalium rerum investigatores sudaverint; quam diversa placita cuderint; nemine tamen, qui ad veram et genuinam causam pertingeret, existente.

Quidam putarunt causam, aquarum cataractas in visceribus Montis latentes, quibus interior aer agitatus, qua data porta foras proruat. Sed hoc dici nulla ratione posse hinc patet, quod tunc Ventus perpetuo durare debet tam aestate, quam hyeme, tam de die, quam de nocte; quod est contra experientiam.

Nonnulli existimarunt, Ventos procedere a vicinorum montium cuniculis, intra quos per varia antra extrinseci Ventorum flatus insinuati, atque intra hunc Montem delati, tandem prorumpant. Sed neque hoc substistere ulla ratione potest: sequeretur enim, hyberno tempore, cum Venti potissimum dominantur, Ventos huius Montis magis saevire, quam quovis alio tempore, quod pariter est contra experientiam.

Non desuerunt, qui affererent, Ventos huiusmodi originem suam a vicini Maris aestu trahere; aerem enim in subterraneis meatibus stabulantem, undarum Maris illisione intra hunc Montem protrudi, ibidemque coarctatum per rimas violenter tandem extrudi. Sed et hoc solido caret fundamento: sequeretur enim Ventos perpetuo ad perpetuum Maris motum durare, vel saltem confuse et interrupte eos continuare: quod est iterum contra experientiam.

Haec sunt praecipua puncta, quibus Physici suas de huius Montis natura opiniones stabiliunt.

Restas itaque, ut et nos ingenii nostri vires in tam intricato negotio tentemus. Dico itaque, nullam aliam adeo prodigiosorum in hoc Monte effectuum causam esse, quam rarefactionem et condensationem aeris; quod ita ostendo.

Et primo quidem suppono, Totum hunc Montem concavum esse, quod et Indigenae longa experientia docti pro certo habent, et ego indubitata experientia comperi. Postquam enim per occultos meandros aliquousque processeris, tunc praecipitia horrida primum imminent in Abyssum Montis protensa, et si lapidem injeceris, post plurimum temporis sonus sicuti in puteis et cisternis echonicus excitabitur, quo quidem cavitatis Montis majus indicium dari non potest.

Secundo, Tota saxei Montis superficies foraminibus, rimis, fissuris referta est, non tantum ex ea parte, qua Caesias, sed et ex opposita parte, qua Aquam Spartam Oppidum respicit, ubi et eosdem effectus, quos in Caesiis reperi.

Tertio; Concatenata haec saxeorum Montium moles, omni terrestri substantia spoliata, aestivo tempore, per varias Solis reflexiones inter Montium crepidines et convallia factas, tam immodicam concipit aestus vehementiam, ut sub Zona Torrida te constitutum dicere possis, neque sit, qui calorem circa meridiem tolerare possit, hominibus animantibusque intra domus stabulaque conductis.

Hic fundamentis innixus dico; Mox ac aer extrinsecus inter saxeos Montes, a Solis multiplici reflexione in tenuissimam substantia redactus rarefactusque dilatatur, sit ut maiorem locum quaeritus, per Montis fissuras rimasque intra interiora viscera summo impeto insinuetur. Verum dum cum aere intus stabulante consistere non potest, aer introactus ceu peregrinus et advena pressus coarctatusque, denuo per ampliores Montis meatus effugium sibi parans, post longas eluctationes tandem summa violentia expellitur. Atque hoc pacto Ventus ille, de quo loquimur, prodigiosus aestivo tempore constituis horis nascitur: Cessante vero calore externo, Ventum quoque iterum cessare necesse est. Que omnium pulchro pilarum Aeoliarum experimento ostenduntur.

Fiat pila ex aere solidissimo fabricata, cum collo arctissimo, in quo foramen sit pariter ad instar puncti acus strictum; haec pila aqua ad medietatem repleta in ignem projecta relinquatur,

donec summum calorem conceperit: quo concepto mox eam intra aquam frigidam projectam aliquandiu submersam tenebis;

(117) et videbis aerem ibi latentem in tenuissimam substantiam redactum paulatim condensatum retroagi; et cum aliud corpus in aeris deficientis locum non suppeditetur, aquam magno impetu intra se attrahere: et hoc pacto vas pilae, quantum satis est, replebitur. Huic igitur si denuo carbones accensos subjeceris, rarefactam intus aquam mox in vaporem resolvet, vapor conclusus dum exitum nisi per strictissimum foramen non reperiat, per id maximo stridore et impetus vehementia erumpet; deficiente vero calore exstrinseco, aqua naturali suo statui reddita nec vapores, nec ventos amplius emittet.

Experior et ego id ipsum quotidie aestivis mensibus in Museo meo, quod occulto meatu in hortum domesticum quatuor altissimis Templi et Collegii muris conclusum protenditur. Contingit itaque, ut mox ac aer in horto, Solis meridiani fervore, variaque radiorum in muros impactorum reflexione accenditur, is nimia rarefactione dilatatus dum effugium quaerit, per meatum magno impetu ruens Museum gratissimo Vento exhilaret: idque non nisi pomeridianis horis aestivis que mensibus contigit, reliquo vero tempore diei, aut hybernis mensibus nihil ex hujusmodi effectibus percipitur.

Hanc ego veram et genuinam causam Ventorum ex Monte Caesiano tanto impetu aestivis mensibus proruentium, salvo aliorum judicio, existimem.

Quod porro hybernis mensibus aerem extrinsecum una cum impositis in orificiis meatum strophiolis, charta, similibusque levioris substantiae rebus, in interiora viscera contrariae viae processu rapiat, istius causam hanc esse dico: Quod hyberno tempore aer condensatus, metu vacui, semper alium et alium aerem forinsecus intro trahat. Utriusque effectus, repulsus scilicet et attractus causam hoc experimento demonstro:

Fiat ex quacunque materia solidiori, vitro, aere, stanno Vas, cujusmodi figura AB demonstrat: ex cujus fundo tubus BAC deducatur, et orificum DE ita abstruatur, ut aer nullibi evadere possit: et Instrumentum erit perfectum. Hoc Soli vel igni appositum, mox ac aer intus esserbuerit, is rarefactione dilatatus per tubum BAC exitum sibi parabit, et consequanter ad orificium tubi C, notabile Ventum exhibebit, qui pluma apposita apparebit. Si vero Vas AB frigida persuderis, aerem AB condensatum, extrinsecum aerem, ad deficientis aeris interioris locum supplendum, cum admiratione attrahi senties; quod apparebit pluma ad orificium C apposita, quae statim intra attracta absorbebitur. Atque ex hoc experimento pulchre sane utriusque effectus causa in dicto Monte patet.

Venti vero, qui perputuo ex aliquo alio Montis meatu efflantur, illi haud dubie originem suam sortiuntur, vel a subterraneis catadupis, vel a Maris affluxu, aerem in meatibus subterraneis sollicitante, uti in nonnullis Aetnae locis notatur; vel ex nivium resolutione, ut in Monte Alverniae et de Antro in Hetruria apud Volaterras, ex quo Alberto Leandro teste, quandoque spiritus Ventus que adeo vehemens erumpit, ut quaeque obvia, et vel ipsas arbores dejiciat.

APPENDICE B
J. HERBINIUS, DISSERTATIONES DE ADMIRANDIS MUNDI CATARACTIS SUPRA ET SUBTERRANEIS

(24) Situs huius Montis est inter Castellum S. Gemini et Interamnium, vulgo Terni, ex Ortu in Occasum longa octo milliarium Montium catena protensus; ut ex Mappa hic apposita patet. Mons totus saxeus, ita a natura compositus, ut ingentium molium saxa uni alteri superimposta miroque Naturae artificio et industria compacta cernantur. Montis dorso Oppidum incubat, nomine Caesii, a primis, uti dicunt, antiquae Caesiae Domus Ducibus fundatum. Hunc itaque Montem iure merito Montem Aeolium, ob Ventorum quos certo tempore volvit turbines, appellandum duxi. Siquidem tempore Aestivo per omnes fissuras et rimas vehementissimos efflat Ventos; ita ut in adjacente Oppido memorati Incolae, mira quadam industria Canalium ventos,

non secus ac in Civitate aquaductuum Canales, intra Cryptas et cellaria hinc inde disponant, tum ad vinum et aquam, tum ad fructus omnis generis gratissimo frigore imbuendos; atque adeo ferocientis Naturae vim in suavissimas delicias vertant. Spectantur autem in Nobilium domibus Canales adeo apte dispositi, atque epistomiis tam assabre instructi, ut Ventorum impetum pro libitu temperare possints additis quoque ostiolis sportulisque, intra quas repositi vel potus vel esculenta summa frigoris vehementia tantum non in glaciem convertuntur.

Primum, Mons hic totus concavus est, quod et Indigenae longa experientia docti pro certo habent, et ego, pergit Kircherus, indubitata experientia comperi: postquam enim per occultos meandros aliquousque processeris, tunc praecipitia horrida primum imminent in Abyssum Montis protensa; et si lapidem injeceris, post plurimum temporis sonus sicuti in puteis et cisternis echonicus excitabitur, quo quidem cavitatis Montis majus indicium dari non potest.

Secundo, Tota saxei Montis superficies foraminibus, rimis, fissuris referta est, non tantum ex ea parte, qua Caesias, sed et ex opposita parte, (25) qua Aquam Spartam Oppidum respicit, ubi et eosdem effectus, quos in Caesiis reperi.

Tertio; Concatenata haec saxeorum Montium moles, omni terrestri substantia spoliata, aestivo tempore, per varias Solis reflexiones inter Montium crepidines et convallia factas, tam immodicam concipit aestus vehementiam, ut sub Zona Torrida te constitutum dicere possis, neque sit, qui calorem circa meridiem tolerare possit, hominibus animantibusque intra domus stabulaque conductis.

Effectus huius Montis admirandi sunt: Namque 1. Ventorum exspirationes, (26) non quolibet anni die, nec qualibet diei hora, sed aestivis solummodo mensibus, quatuor ante Meridiem, et totidem post horis, comperiuntur; quibus peractis, Ventorum flatus paulatim et sensim flaccescentes deficiunt; nocturno vero tempore vix ullum Venti apparet vestigium: ita quidem, ut pro aetus diurni maiori vel minori vehementia, jam plus, jam minus sentiatur Spirituum inclusorum agitatio et exsufflatio. 2. Hybernis Mensibus oppositos aestivis sortiuntur effectus Spiracula. Nam, si quispiam strophiolum, aut aliud quidpiam, orificiis canalium applicet, id, mirum dictu, non jam Vento expirante protruditur, sed introrsum, nescio qua abdita vi, attrahitur, et tanto quidem vehementius, quanto frigus fuerit intensius. 3. Aeris exsufflati qualitas ea est, quae rigore venti homines in istiusmodi cryptis commorantes, in febriles alterationes minime urgeat, uti aliis in locis accidere solet; sed quemadmodum siccitate impolluta gaudet, ita hominibus mirum in modum ad sanitatem vitaeque prolongationem conducit.

§ 2. Nemo itaque Ventos in Terrae cavernis contineri, ibidem praelia miscere, indeque tandem prodire miratur, aut dubitat amplius, cum hoc ipsum Veteribus etiam fuerit cognitissimum; Hinc Virgilius Aeolum in Terra regnare, cujus cavernis, tanquam carceribus, Ventorum coerceat libidinem ac petulantiam, lib. I Aeneid. (52)

Aeoliam venit. Hic vasto rex Aeolus antro
luctantes ventos tempestatesque sonoras
imperio premit ac vinclis et carcere frenat.
Illi indignantes magno cum murmure montis
circum claustra fremunt; celsa sedet Aeolus arce
sceptra tenens, mollitque animos et temperat iras.

Dicis autem: Qui potest Ventus sub terra moveri, ultroque ac citro ibidem flare ac reflare? Resp. Ingrediendo Terrae cavernas, atque iterum alibi egrediendo. Fitque hoc ipsum per circulationem Aeris ac Ventorum Continuam, vel Periodicam. Est enim revera daturque Elementorum intra et extra Terram circulatio. Orbibus suis in Terra eunt Ignes: cunicolis hydragogis Aquae Terram intrant, et permeant, ex eademque iterum per Siphones fontium et Scaturiginum foras prorumptunt. Sic etiam Follibus Cavernarum ibidem spirant respirantque Venti. Hinc Aere supra terram quieto, Venti in Aerophylacio subterraneo saeviunt; contra, Tempestatibus apud nos saevientibus, in Terrae cavernis Malacia summa quiesque observatur. Iterum vero, tempestate apud nos remittente, ibidem Venti iras acuunt, praeliaque non sine murmure ingenti

ac boatu horribili, miscere incipiunt. Atque ita (27) Aer et Venti per circulationem intra et supraterraneam continuam moventur perpetuo: neque hoc absurdum esse videri cuipiam debet.

§ 3. Cui vero usui haec Ventorum in cavernis Terrae circulatio est? Resp. 1. Ad librandum Terram, cujus Corpus, cum sit grave, pondereque proprio prematur, proinde Aer et Venti, permeando venas carceresque ejus attolunt ipsam ea vi, ut, quacunque parte parum solida est, gravi concussione perrumpant tandem, forasque non sine procella ingenti egrediantur, quod sere in omnibus Terrae motibus usu evenire solet. 2. Alter usus est quod Venti ergastula subterranea ingredientes, multos, quibus Aer infectus est, foetores corporaque pestifera secum eo vehant, ibidemque hic inde per Hydrophylacia aut Pyrophylacia vagando, eademque dissipando deponunt; donec tandem expurgati et salubriores foras erumpant, nobisque bonam aeris temperiem afferant.

APPENDICE C
G. AGRICOLA, DE RE METALLICA, LIBER QUINTUS, PAG 82

Aer autem exterior se sua sponte fundit in cava terrae, atque quum per ea penetrare potest: rursus evolat foras: sed diversa ratione hoc fieri solet. Etenim vernis et aestivis diebus in altiorem puteum influit, et per cuniculum vel fossam latentem permeat, ac ex humiliori effluit: similiter iisdem diebus in altiorem cuniculum infunditur et interiecto puteo defluit in humiliorem cuniculum, atque ex eo emanat. Autumnali vero et hyberno tempore contra in cuniculum vel putem humiliorem intrat, et ex altiori exit: verum ea fluxionum aeris mutatio in temperatis regionibus et locis sit in initio veris et in fine autumni: in frigidis autem in fine veris, et in initio autumni: sed aer utroque tempore, anteaquam cursum suum illum consuetum constanter teneat, plerunque quatuordecim dierum spacio crebras habet mutationes, modo in altiorem puteum vel cuniculus influens, modo in humiliorem. Sed de his satis: nunc ad reliqua pergamus.

[HOOVER, 1912]

The outer air flows spontaneously into the caverns of the earth, and when it can pass through them comes out again. This, however, comes about in different ways, for in spring and summer it flows into the deeper shafts, traverses the tunnels or drifts, and finds its way out of the shallower shafts; similarly at the same season it pours into the lowest tunnel and, meeting a shaft in its course, turns aside to a higher tunnel and passes out therefrom; but in autumn and winter, on the other hand, it enters the upper tunnel or shaft and comes out at the deeper ones. This change in the flow of air currents occurs in temperate regions at the beginning of spring and the end of autumn, but in cold regions at the end of spring and the beginning of autumn. But at each period, before the air regularly assumes its own accustomed course, generally for a space of fourteen days it undergoes frequent variations, now blowing into an upper shaft or tunnel, now into a lower one. But enough of this, let us now proceed to what remains.

[MACINI, 2008]

Ma l'aura di fuori da sé vassene ne le cave de la terra, e quando per quelle può penetrare, di nuovo anco esce fuori: ma cio per far si suole con diversi modi. Impercioche nel tempo de la primavera, e de la state, ella penetra nel più alto pozzo, e per la mina o ver per la nascosta fossa trapassando, per la più bassa soffia & esce fuori. In questi stessi giorni parimenti ella entra ne la più alta mina, e del pozzo che tramezza scorre ne la più bassa mina, e per essa esce fuori. Ma ne l'autunno, e ne l'inverno per lo contrario entra ne la mina più bassa, o nel più basso pozzo, & esce per lo più alto. E cotal mutazione de gli scorrimenti de l'aura, ne paesi e luoghi temperati, si fa a l'entrare della primavera, e nel fine dell'autunno: ma nei paesi freddi, nel fin de la primavera, & a l'entrata de l'autunno. Ma prima che l'aria ne l'uno e l'altro tempo fermamente faccia il suo corso consueto, il più de le volte per lo spazio di quattordici giorni, ella fa molte mutazioni, hora per la più alta mina, o per lo più alto pozzo, & hor per la più bassa. E di ciò sia detto a bastanza, hora ne vengo al resto.

APPENDICE D
M. LOMONOSOV, DE MOTU AERIS IN FODINIS OBSERVATO

Cum anno 1740 Freibergae in Misnia degerem, ubi Chymiae et rei metallicae operam dabam; accidit aliquoties ut fodinas invisens observarem motum aëris, qui per puteos, cuniculos et fossas latentes etiam tranquillissimo coelo nullis machinis pneumaticis impulsus ita ferebatur, ut aliquando lampades fossoribus usitatas extingueret. Huius tunc phaenomeni proprietates satis perspicere non mihi licuit, cum aliis rebus, quae ad praxim metallicam spectabant et ubique annotandae occurebant, essem intentus. Verum postquam in patriam redux Georgii Agricolae, libros de re metallica evolverem, memoratum phaenomenon distincte descriptum inveni. Verba laudati auctoris haec sunt: „Aër exterior se sua sponte fundit in cava terrae, atque cum per ea penetrare potest, rursus evolat foras: sed diversa ratione hoc lieri solet. Etenim vernis et aestivis diebus in altiorem puteum influit et per cuniculum vel fossam latentem permeat, ac ex humiliori effluit: similiter iisdem diebus in altiorem cuniculum infunditur et interjecto puteo defluit in humiliorem cuniculum atque ex eo emanat. Autumnali autem et hyberno tempore in cuniculum vel puteum humiliorem intrat et ex altiori exit. Verum ea fluxionum aëris mutatio in temperatis regionibus et locis fit initio veris et fine autumni, in frigidis vero in fine veris et in initio autumni. Sed aër utroque tempore, antequam cursum suum illum constanter teneat, plerumque quatuordecim dierum spatio crebras habet mutationes, modo in altiorem puteum vel cuniculum influens, modo in humiliorem“. Hanc igitur descriptionem a viro rei metallicae peritissimo nobis relictam cum viderim legibus aërometricis et hydrostaticis esse consonant, nullus dubitavi theoriam hujus phaenomeni iisdem legibus superstrui et Geometrarum methodo concinnari posse.

Definitio 1

§ 1. Puteus est fossa profunda angustior, ad horizontem perpendicularis AB, vel ad eundem plus aut minus inclinata CE.

Definitio 2

§ 2. Fossa latens BE dicitur, quae ab ima parte putei B ad imam partem alterius putei E horizontaliter ducta illos conjungit seu communicat.

Corollarium

§ 3. Fodina, quae constat ex duobus puteis, fossa latente conjunctis seu communicatis, refert exacte tubos communicantes, quibus utuntur Physici ad aequilibrium fluidorum demonstrandum, quamobrem corpora fluida eiusmodi fodinae infusa legibus hydrostaticis ut in syphonibus obtemperare debent.

Definitio 3

§ 5. Puteus altior CE dicitur, cuius apertura superior C patet in parte montis editiore. Puteus humilior AB est, cuius apertura superior A patet in parte montis humiliore.

Corollarium

§ 6. Si uterque puteus et fossa latens replentur fluido, quod aërem externum gravitate specifica superat, fluidum in puteo altiore praeponderabit fluido in puteo humiliori.

Definitio 4

§ 7. Cuniculus est fossa horizontalis FG vel HK, cuius apertura patet in parte montis declivi, superior FG dicitur, quae montis partem editiorem occupat, inferior HK, quae humiliorem. [Fig. 2].

Definitio 5

§ 8. Puteus interiectus GK est, qui cuniculum superiorem FG cum cuniculo inferiore HK conjungit seu communicat.

Corollarium

§ 9. Cum etiam fodina FGKH tubos communicantes horizontaliter inclinatos repraesentet, quamobrem circa aequilibrium corporum fluidorum illorum officio fungi potest.

Experientia 1

§ 10. Aër in fodinis qualibet anni tempestate habet eundem gradum caloris, ubi fossores nullam injuriam a frigore vel aestu sentiunt. Contra vero in libero aëre hyberno tempore frigus, aestivo aestus dominatur.

Corollarium

§ 11. Aestate igitur aër in fodinis est frigidior externo, hyeme autem eodem calidior, adeoque aestate specifice gravior externo, hyeme specifice levior.

Experientia 2

§ 12. Aër externus tempore aestivo vel hyberno dum sponte sua vel industria fossorum in cava terrae infunditur, calorem vel frigus foris sibi impressum repente amittit, et eandem temperiem in se recipit, qua latera fossarum sunt praedita, seu quam habebat aër, qui ante fodinam replebat.

Scholium

§ 13. Quam repente aër calorem acquirit et amittit, respiratio quolibet momento temporis loquitur, ubi frigidum aëra pulmonibus haurimus, calidum effundimus, qui ex ore emanans proxime admotam manum tepore, remotiorem vero levi frigore afficit.

Corollarium

§ 14. Aër, qui in fodinas infunditur aestate redditur externo specifice gravior hyeme eodem specifice levior (§ 11).

Theorema 1

§ 15. Tempore aestivo aër debet infundi in puteum altiorem CE et ex puteo humiliori AB egredi [Fig. 1].

Demonstratio

Aër in fodinis aestivo tempore est specifice gravior quam externus (§ 11), quamobrem aër in puteo altiore CE praeponderabit aëri in puteo humiliori AB (§ 6). Consequenter ex C descendet usque ad D, ut cum aëre in puteo AB contento aequilibrium acquirat; post descensum expellet ex puteo AB quantitatem aëris aequalem quantitati, quae continebatur in parte CD putei EC. Interea aër externus propria sua gravitate descendet in puteum EC usque ad D, habebitque eundem gradum caloris, quem habet reliqua pars aëris in fodina contenta (§ 12), h. e. erit specifice gravior externo (§ 14). Consequenter aër in puteo CE, eadem ratione ut ante, praeponderabit aëri in puteo AB contento, et descendens usque in D, illum per A expellet ex puteo AB, in partem CD putei EC, externum aërem rursus admissurus. Et, hac ratione iste aëris motus tamdiu continuabitur, quousque aër in fodina contentus manebit specifice gravior externo, hoc est, tempore aestivo aër infundetur in puteum altiorem, ex humiliore, effluet. Q. E. D.

Scholium

§ 16. Aër ex puteo humiliore AB egressus in eum qui succedit integro suo pondere agere et aequilibrium in fodina restituere non potest; quippe quam primum ex apertura A versus L effluit, calore rarefit, cum reliquo aëre commiscetur et distrahitur.

Theorema 2

§ 17. Tempore aestivo aër debet infundi in curriculum superiorem FG, et e cuniculo inferiore HK effluere [Fig. 2].

Demonstratio

Utriusque putei aperturis H et F insistunt columnae aëris ad superficiem atmosphaerae exporrectae. Quae insistit aperturae F, brevior est altera columna insistente aperturae H, parte HP, quem defectum substituit columna aëris in puteo interjecto GK contenta. Quoniam autem tempore aestivo aër in fodinis est specifice gravior aëre externo (§ 11), quamobrem pars columnae atmosphaericae in puteo interjecto contenta GK erit specifice gravior parte columnae PH. Reliquae autem columnarum partes ad superficiem atmosphaerae exporrectae sunt ejusdem altitudinis et gravitatis specificae (nam in eadem fere atmosphaerae parte subdio ad unum terminum extenduntur) quamobrem columna aëris, quae insistit aperturae F cum parte specifice graviore GK praeponderabit columnae insistenti aperturae H cum parte specifice leviore HP.a Consequenter sublato aequilibrio aër in puteo interjecto GK descendet in cuniculum inferiorem HK, et quantitatem aëris sibi aequalem ex eo foras per H protrudet. In puteum interiectum GK aër defluet ex cuniculo FG, eique succedet externus; qui tandem refrigeratus (§ 12) in puteum GK influet, ei sublato iterum aequilibrio per cuniculum HK foras egredietur, et sic continuo aër in cuniculum superiorem ingredietur, ex inferiore effluet, quousque aër externus manebit specifice levior interno, hoc est, quamdiu aestas durabit (§ 11). Q. E. D.

Corollarium 1

§ 18. Ubi aestas longiori tempore permanet, ibi etiam aër diutius eam directionem motus conservabit, qua ingreditur in puteum vel cuniculum altiorem, ex humiliore effluit. Et contra, ubi aestas brevis est, ibi etiam haec fluxio aëris breviore tempore durabit.

Corollarium 2

§ 19. Mirum prefecto non est in oris temperatis ejusmodi fluxionem incipere initio veris et fine autumni cessare, in frigidis autem initium capere sub finem veris et sub initium autumni desinere.

Theorema 3

§ 20. Brumali tempore aër infundi debet in puteum humiliorem AB, et ex puteo altiore EC effluere.

Demonstratio

Puteus CE est altior puteo AB (per hypoth.) et aër in fodinis tempore hyberno specifice levior externo (§ 11). Igitur pars AL columnae insistentis extremitati B erit specifice gravior parte DE columnae insistentis extremitati E (§ eod.). Quamobrem columna insistens extremitati B praeponderabit columnae insistenti extremitati E, adeoque aër externus irruet in aperturam A putei AB, ac illum, qui ceteras partes fodinae occupat per aperturam C protrudet foras. Et quoniam aër fodinam ingressus hyeme redditur specifice gravior externo (§ 14), quamobrem semper aequilibrio sublato aër hyberno tempore in puteum humiliorem influet, ex altiore effluet. Q. E. D.

Corollarium 1

§ 21. Quoniam fodina FGHK eadem ratione est comparata, ut fodina ABCE, nimirum pars HP columnae aëris ad superficiem atmosphaerae exporrectae, aperturae H insistentis, tempore brumali est specifice gravior parte GK, quae replet puteum interjectum, quamobrem aër hyberno tempore infundetur in cuniculum inferiorem, ex superiore egredietur.

Corollarium 2

§ 22. Aër externus continuo ingreditur in puteos et cuniculos inferiores, ex superioribus egreditur, quamdiu manet specifice gravior interno, consequenter ubi hyems pluribus mensibus dominatur, ibi etiam motus aëris ab apertura inferiore versus superiorem diutius durare debet, quam ubi hyems est brevior; adeoque in regionibus frigidis aër externus incipere debet fluxionem per fodinas ab apertura putei vel cuniculi humilioris versus aperturam putei vel cuniculi altioris sub initium autumni, eamque finire sub exitum veris; sub coelo autem temperato motus hic initium capere debet sub finem autumni, sub initium veris cessare.

Corollarium 3

§ 23. Vere et autumno, quando frigus et calor luctantur, aër externus tum calidior, tum frigidior redditur interno, qui fodinas occupat, adeoque fit externo tum specifice levior, tum gravior. Mirum igitur non est his anni tempestatibus motum illius quatuordecim dierum circiter spatio contrariis directionibus fodinas alternatim permeare.

Scholium 1

§ 24. Hanc theoriam de aëris motu spontaneo in fodinis non inutilem fore arbitramur praefectis fodinarum et fossoribus. Etenim (si locorum situs patitur) puteis, cuniculis et fossis ea ratione ductis, hi laboribus, illi sumptibus parcere possunt: siquidem ad construendas machines pneumaticas, ad easque movendas, propter aërem subterraneis vaporibus infectum expellendum, non exigua pecunia et opera impenditur.

Scholium 2

§ 25. Nec in phaenomenis rerum naturalium explicandis non alia hinc opera expectari potest. Athanasius Kircherus in Mundo suo subterraneo refert, dari in Italia quasdam speluncas, quae certis anni tempestatibus aërem effundunt et in agris vicinis ventum producunt, quod propositae hujus theoriae auxilio dilucidari posse censemus.