

LA SCIENZA NEL PERIODO ELLENISTICO (II)

Astronomia e meccanica

Lo stato dell'astronomia all'inizio del III secolo a.C.

Verso la fine del IV secolo a.C. era generalmente accettato il sistema astronomico detto a **due sfere**, quello che sarà codificato da Aristotele con alcune modalità che discuterò un poco oltre. La **Terra sferica è al centro dell'universo che è racchiuso da una sfera, quella delle stelle fisse**. Intorno alla Terra ruotano i pianeti verso est, mentre la sfera delle stelle fisse ruota verso ovest (vedi figura seguente).

Questo sistema aveva però varie complicazioni relativamente ai dati osservativi. Varie cose non tornavano e non sembravano esservi spiegazioni. Inoltre, nel momento del massimo splendore della scienza alessandrina, sembrava che proprio l'astronomia anziché avanzare con invenzioni teoriche pari a quelle fatte in matematica, si richiudesse dentro un ambito ristretto di complicazioni tecniche ed in gran parte macchinose. Il problema nasceva dal fatto che non si danno grandi voli dell'intelletto quando non si hanno strumenti adeguati tecnici e di misura. All'introduzione, ad esempio, dell'astronomia in Grecia da parte dei pitagorici non corrispose un'analoga introduzione dei metodi aritmetici dei babilonesi che erano potenti strumenti tecnici di indagine che si sarebbero dovuti comunque coniugare con dati osservativi nuovi e sempre più accurati.

Eudosso rimise l'astronomia su binari scientifici rispondendo in qualche modo alla *provocazione* del suo maestro Platone secondo il quale occorreva **salvare i fenomeni**. Occorreva cioè spiegarli e rendere conto di essi attraverso elaborazioni teoriche che non necessariamente avrebbero dovuto corrispondere con ciò che avviene in realtà. Vi erano tanti fenomeni osservati (e, fino all'invenzione della diottra attribuita ad Ipparco e della quale parlerò più oltre, con strumenti primitivi come lo gnomone e la meridiana) che non trovavano spiegazione in alcuna teoria: cambi di velocità nel cielo, pianeti che danzano (vanno un poco in avanti poi stazionano e poi vanno un poco indietro), cambi di luminosità, stagioni, diversa lunghezza di esse, ... Occorreva costruire un sistema che spiegasse tali fenomeni.

Eudosso ideò un sistema di sfere muoventesi in modo da risolvere parte dei problemi che si ponevano. **Fermo restando il geocentrismo** e tutte le implicazioni che esso aveva, si trattava di dare una risoluzione geometrica del moto simultaneo (con centro la Terra) del Sole, della Luna e dei cinque pianeti. Ciò fu realizzato mediante il sistema delle **sfere omocentriche** (sfere aventi lo stesso centro, un poco come in una cipolla) ruotanti con assi e velocità angolari differenti. Naturalmente questa risoluzione doveva rendere anche conto di uno dei fenomeni che più avevano creato dei problemi ai vari astronomi nel descrivere le loro osservazioni, il **moto retrogrado dei pianeti**. Di cosa si tratta? Nella sua orbita intorno al Sole, vista dalla Terra, qualche pianeta ogni tanto non segue il suo moto in una precisa direzione di rotazione. Esso, sempre osservato dalla Terra, avanza nel suo moto ordinario verso est poi, ogni tanto, torna un pochino indietro (verso ovest!) per riprendere successivamente la sua marcia ordinaria verso est. E' un fatto straordinario, per chi non conosce il sistema copernicano ed è ancora legato alla Terra immobile. In linea di massima, in certi periodi dell'anno, un dato pianeta, osservato dalla Terra, può essere visto seguire la traiettoria di figura seguente:

QuickTime™ e un
decompressore TIFF (Non compresso)
sono necessari per visualizzare quest'immagine.

Sembrerebbe quindi che il pianeta, di tanto in tanto, torni indietro. Il tutto si spiegherà naturalmente con il **sistema planetario di Copernico** ma, mantenendo la Terra al centro dell'universo, la cosa era un rompicapo per il quale si tentarono varie spiegazioni e soluzioni. Le sfere omocentriche di Eudosso risolvevano anche questo problema.

Nel sistema planetario di Eudosso ciascun pianeta era posto sopra la sfera interna di un gruppo di due o più sfere concentriche, fra loro collegate, la cui simultanea rotazione attorno ad assi differenti produceva il moto osservato dei pianeti.

Questo sistema astronomico delle sfere omocentriche era un modello puramente matematico. Fu **Aristotele** che gli dette realtà fisica trasformando quelle sfere matematiche in **sfere materiali cristalline** (cristalline perché non si vedessero) perché Aristotele aveva bisogno di un **sostrato materiale per la sua fisica**. Conseguenza di ciò fu la necessità di introdurre **nuove sfere** che impedissero gli attriti tra sfere, attriti che non esistono nei modelli matematici ma solo in quelli meccanici. Tali sfere dovevano essere interposte alternativamente alle precedenti e dovevano ruotare in verso opposto (sfere *reagenti*) e con lo stesso asse al fine di impedire il trasferimento di moto da una sfera alla successiva (ricordo che il moto planetario per Aristotele era trasferito dall'esterno, *dal primum mobile*, verso l'interno).

Il sistema di Eudosso, come racconta Aristotele e commenta Simplicio, **sarà perfezionato da Callippo di Cizico** (370-325 a. C.), allievo del primo ed amico di Aristotele, con l'introduzione di **7 sfere aggiuntive** per correggere le discrepanze con il moto dei pianeti dal movimento più irregolare. Così Callippo aggiunse una sfera supplementare a Marte, Mercurio e Venere, mentre non ne aggiunse alcuna a Giove e Saturno. Invece, per spiegare meglio i moti del Sole e della Luna, specialmente in relazione alle eclissi, aggiunse a questi ben due sfere supplementari. Le sfere aggiunte ai pianeti inferiori dovevano servire a migliorare il calcolo delle retrogradazioni. Le due sfere aggiunte al Sole dovevano rendere conto della diversa durata delle quattro stagioni (a partire dall'equinozio d'inverno egli aveva misurato con precisione, oggi sostanzialmente confermata, la lunghezza delle 4 stagioni in giorni 94, 92, 89, 90). Le due aggiuntive alla Luna, probabilmente, a spiegare l'irregolarità del suo moto lungo la linea equinoziale. Il numero di sfere passerà dalle 27 di Eudosso alle 34 di Callippo. Saranno poi ulteriori aggiustamenti fatti da Aristotele che accetterà il sistema di Eudosso-Callippo **a portarle a 56** (per quanto precedentemente accennato).

Ad **Alessandria**, nel III secolo a.C., siamo praticamente a questo punto e proprio in questa epoca vi furono ulteriori interventi sul sistema delle sfere sempre al fine di rendere conto dei fatti osservati in un modo meno macchinoso del prevedere 56 sfere in rotazione l'una dentro l'altra, con stesso centro ma con assi di rotazione differenti. Da una parte si modificò il sistema delle sfere omocentriche di Eudosso con l'introduzione di un altro sistema di sfere (forse è meglio parlare di circonferenze), quello degli **epicicli e deferenti**, ad opera di Apollonio di Perga (262-190) e di Ipparco di Nicea (185-127) e **con un cambiamento radicale di punto di**

vista, quello operato da Aristarco di Samo (310-230), che mise il Sole al centro dell'universo e la Terra a girargli intorno.

Il Sole al centro dell'universo

Discuto in breve il sistema astronomico ideato da **Aristarco** perché su di esso sappiamo pochissimo. Ci conforta la testimonianza di un personaggio d'eccezione, Archimede, che se prese in considerazione la cosa essa doveva essere suffragata da diversi argomenti non meramente discorsivi. Purtroppo però, ripeto perché la cosa è deprimente, non abbiamo altro che alcune cose che Archimede scrive nell'*Arenario*:

*Tu [o Gelone] sai che dal più gran numero di astrologi vien chiamata cosmo la sfera il cui centro è il centro della Terra, e il [cui] raggio è uguale alla retta compresa tra il centro del Sole e il centro della Terra: questo l'hai appreso dalle dimostrazioni scritte dagli astrologi. Aristarco di Samo, poi, espose per iscritto alcune ipotesi, secondo le quali si ricava che il cosmo è più volte maggiore di quello suddetto. Suppone infatti che **le stelle fisse e il Sole rimangano immobili, e che la Terra giri, seguendo la circonferenza di un cerchio, attorno al Sole, che sta nel mezzo dell'orbita...***

Aristarco è un astronomo matematico del suo tempo che è entrato nell'attenzione di più grandi matematici dell'epoca. Non è difficile capire che le sue argomentazioni dovevano essere pregnanti ed argomentate. Il rifiuto della suo modello doveva invece nascere da presupposti diversi, da cose non chiarite e/o non affermate. Se la Terra è immobile una qualsiasi stella deve sempre essere osservata in una medesima direzione. **Ma se la Terra fosse in moto, a sei mesi di distanza, quando cioè la Terra si fosse trovata in posizione diametralmente opposta della sua supposta orbita, la data stella dovrebbe essere vista dalla Terra sotto un dato angolo (parallasse stellare)**

Già **Filolao** potrebbe essere incappato nel problema che non si risolve se si ha il pregiudizio di piccolo universo unito a strumenti inadatti. Se non si osserva la parallasse, infatti, una delle possibilità è concludere che la Terra è ferma (ma si potrebbe entrare in altro campo d'ipotesi se solo si abbandonasse ogni pregiudizio e non si continuasse a guardare la storia del lontano passato con gli occhi di oggi). Il problema è di grande complicazione perché implica misurare angoli piccolissimi, come quelli che verrebbero fuori nel caso delle enormi distanze che oggi sappiamo esserci tra orbita della Terra e stella, anche la più vicina (*Proxima Centauri* che dista 4,3 anni luce è che ha una parallasse di 0,75 secondi d'arco, cioè meno di un solo grado, impossibile da apprezzare senza una strumentazione molto sofisticata).

A questo punto esco dal seminato propriamente astronomico per percorrere un altro sentiero, quello della geografia matematica. Fu **Eratostene di Cirene** (276-194 circa)⁽⁶⁾, altro scienziato alessandrino che fu direttore della Biblioteca ed amico e corrispondente di Archimede, ad eseguire questa misura.

Le dimensioni della Terra

Eratostene ebbe un'idea tanto semplice quanto geniale e tale idea discendeva certamente dalle molte conoscenze avanzate che aveva anche in campo astronomico. Infatti alla base del suo percorso teorico vi è la convinzione che il Sole sia tanto distante dalla Terra da far sì che i suoi raggi giungano su di essa paralleli e l'ammissione di sfericità della Terra. Ebbene egli o chi per lui (questo è irrilevante) aveva osservato una cosa che tutti osservano perché colpisce molto: quando ci si trova in determinate zone della Terra (a determinate latitudini), in particolari periodi dell'anno, il Sole non produce ombre. Spiego meglio. Se i raggi solari cadono perpendicolari in un certo luogo, in quel luogo un'asta, un bastone, un obelisco, una persona ... non fanno

ombra intorno ad essi. In particolare ciò accade al Tropico del Cancro (latitudine 23° 27' N), durante il solstizio d'estate (teoricamente il 21 giugno), a mezzogiorno. E ciò era stato osservato da Eratostene nella città di Siene sul Nilo (l'attuale Assuan) dell'Alto Egitto (Egitto del Sud). In quel 21 giugno egli non osservava la sua ombra e, fatto più utile alla misura, accadeva che la luce del Sole arrivava ad illuminare per un breve periodo il fondo dei pozzi. Questo momento era il riferimento in corrispondenza del quale fare la misura che vedremo. Intanto Eratostene viveva comunemente ad Alessandria e ad Alessandria si ha sempre un'ombra che sarà la più corta possibile proprio quel 21 giugno. Inoltre Alessandria e Siene si trovano all'incirca sullo stesso meridiano ed Eratostene aveva misurato tale distanza in 5000 stadi (non avendo il testo originale non sappiamo a quale unità *stadio* si riferisse Eratostene, visto che dietro tale nome vi erano varie differenti misure: stadio alessandrino = 157,5 m e stadio attico = 177,6 m)⁽⁷⁾. In ogni caso, riferendosi alla figura seguente, Eratostene doveva misurare ad Alessandria, in corrispondenza del fondo dei pozzi illuminato a Siene, la lunghezza dell'ombra di un'asta perpendicolare rispetto al suolo e quindi dell'angolo formato tra asta e direzione del raggio di Sole (tale angolo che chiamo *a*, aveva un valore di 1/50 di cerchio, cioè 1/50.360°). Date queste due misure con semplici proporzioni si può risalire a ciò che Eratostene cercava: la circonferenza della Terra (che indico con *C*).

Dalla figura si vede che l'angolo misurato da Eratostene è alterno interno all'angolo al centro della Terra, sotteso dall'arco di 5000 stadi. Si può quindi scrivere la proporzione:

$$a : 360^\circ = 5000 \text{ stadi} : C$$

Si vede subito che l'unica incognita nell'espressione precedente è *C* per la quale si trova:

$$C = 360^\circ \cdot 5000 \text{ stadi}/a \Rightarrow C = 360^\circ \cdot 5000/a = 252\,000 \text{ stadi}$$

In una seconda misura, più accurata, il valore trovato fu 252 000 stadi. Se Eratostene aveva assunto lo stadio ordinario, tale misura equivale a Km 39 690 che è molto vicina al valore che oggi accettiamo (circa 40 000 Km), ma se Eratostene aveva utilizzato la vecchia misura (sembra non essere il caso) dello stadio attico, allora i 252 000 stadi diventano 44 755 Km che è un valore che si discosta di oltre il 10% da quello che oggi accettiamo.

Dalla lunghezza della circonferenza della Terra è possibile risalire al suo raggio e da questo, prendendo in considerazione le relazioni trovate da Aristarco, è possibile trovare il raggio del Sole e quello della Luna. E' veramente la scoperta di un mondo. In poco tempo ci si è messi su una strada di interpretazione scientifica e razionale del mondo. In tutti i campi della conoscenza naturale. Si tratta di una vera rivoluzione scientifica che marcerà inarrestabile finché interventi esterni (oscurantismo religioso e disinteresse di Roma per la scienza) non fermeranno il tutto

Epicicli e deferenti

Nel III secolo vi sono state due grandi novità in campo astronomico : l'eliocentrismo, l'ho appena discussa, l'altra è quella della spiegazione dei moti celesti mediante **una geometria diversa dalle sfere omocentriche di Eudosso-Callippo**. L'astronomo che iniziò la strada della revisione della spiegazione geometrica dei moti celesti mediante le sfere omocentriche di Eudosso-Callippo, fu il matematico, **Apollonio di Perga** (262-190 circa). L'idea di Apollonio, sviluppata da Ipparco, ritenuta più semplice (forse perché più rappresentabile mentalmente), era la seguente:

La Terra è al centro di un sistema di cerchi concentrici chiamati **deferenti**. Lungo tali cerchi primari non si muove il pianeta o l'astro in considerazione: essi sono solo una sorta di guida per i centri dei cerchi secondari (**epicicli**) che si muovono sui primi e che sono la traiettoria dell'astro.

QuickTime™ e un
decompressore TIFF (Non compresso)
sono necessari per visualizzare quest'immagine.

Riferendoci ad esempio al **Sole**, secondo Apollonio esso circola con periodo di un anno, con moto uniforme e in senso orario su un cerchio, detto epiciclo, il cui centro, circola a sua volta, in senso antiorario e con lo stesso periodo di un anno, su un altro cerchio, detto deferente, centrato nel centro della Terra. Ciò che fece Apollonio fu dimostrare che questa combinazione di due moti equivaleva alle 5 sfere omocentriche (tre di Eudosso e due aggiunte da Callippo) del sistema di Eudosso-Callippo. Riferendoci ora ad un pianeta è possibile, attraverso opportune regolazioni delle velocità del deferente e dell'epiciclo, **spiegare i moti retrogradi** dei pianeti.

Ipparco, che operò un secolo dopo Aristarco ed Eratostene, portò al massimo livello il sistema degli epicicli e deferenti, completandolo e facendo ogni aggiustamento necessario, anche se non riuscì a spiegare tutto e particolarmente i moti irregolari della Luna (ma Tolomeo ci informa che Ipparco rinunciò alla speranza di una teoria planetaria completa per la mancanza di dati osservativi sui pianeti che si estendessero su molti anni, dati che nella breve vita di una persona non si possono raccogliere). Il completamento definitivo del sistema epicicli-deferenti si ebbe con l'opera di **Claudio Tolomeo** che ebbe 300 anni in più di osservazioni tutte regolarmente registrate.

Ipparco disponeva di 150 anni di nuove osservazioni celesti prima di lui e molte altre ne fece dal suo osservatorio di Rodi. Tali osservazioni permisero ad Ipparco di fare la mappa del cielo dove catalogò oltre 850 stelle visibili ad occhio nudo (Tolomeo arriverà a 1080), dividendole in 6 classi di grandezza e dandone la posizione in coordinate eclittiche (latitudine e longitudine) e, confrontando le più antiche osservazioni di cui disponeva con le sue, scoprì un fenomeno di enorme importanza che va sotto il nome di **precessione degli equinozi**.

QuickTime™ e un
decompressore TIFF (Non compresso)
sono necessari per visualizzare quest'immagine.

Spiego in breve: i **due punti equinoziali** (intersezioni tra piano dell'eclittica - cioè piano del cerchio massimo della sfera celeste percorso dal Sole nel suo moto annuo - ed equatore celeste - cerchio ottenuto immaginando di espandere l'equatore terrestre fino ad intersecare la sfera celeste) non mantengono sempre la stessa posizione riferendoli alle stelle fisse. Essi (ma anche i solstizi) **ogni anno si spostano da est ad ovest** di circa 50 secondi d'arco (in modo che ogni 71,6 anni circa anticipano di un giorno). Il fenomeno è dovuto, come oggi sappiamo, ad un insieme di cause tra cui la non perfetta sfericità della Terra e le attrazioni gravitazionali su di essa di Sole e Luna che provocano l'oscillazione e la conseguente rotazione a doppio cono dell'asse terrestre che si compie in un periodo di circa 26 000

Gli strumenti tecnici che realizzò ed affinò Ipparco non sono solo quelli detti ma anche una parte fondamentale di uno strumento di calcolo che da lui prese le mosse: **la trigonometria piana e sferica**

Certamente alcuni scienziati del passato (Aristarco, Eratostene, Archimede, ...) avevano iniziato a **misurare le corde dei cerchi** ma sembra che ad Ipparco fosse noto il fatto che **una corda di una data circonferenza è funzione dell'angolo al centro da essa sotteso** e sembra anche che egli abbia costruito *una tavola delle corde* che oggi sarebbe chiamata **tabola dei seni**.

Utilizzando anche la trigonometria, Ipparco riuscì a misurare con una certa precisione la **distanza della Terra dalla Luna**.

Astrologia

A questo punto si potrebbe inserire tutta un'altra storia, quella dell'**astrologia**. Si tratterebbe di un lavoro di grande mole e non è ora il momento⁽¹¹⁾. Dico solo qualcosa per localizzare la nascita ed il primo sviluppo del fenomeno. L'astrologia, intesa in senso letterale è la pratica che permette di determinare l'influsso dei sette pianeti (i 5 noti più Sole e Luna) sulla Terra e sulle singole persone a seconda della loro posizione nello Zodiaco al momento della nascita. Intesa in questo senso, l'astrologia fa i suoi primi passi nel V secolo a.C in Mesopotamia e fiorisce e si sviluppa enormemente nel III secolo a.C., proprio in corrispondenza dello splendore alessandrino.

L'astrologia, intesa in senso letterale è la pratica che permette di **determinare l'influsso dei sette pianeti (i 5 noti più Sole e Luna) sulla Terra e sulle singole persone a seconda della loro posizione nello Zodiaco al momento della nascita**. Intesa in questo senso, l'astrologia fa i suoi primi passi nel V secolo a.C in Mesopotamia e fiorisce e si sviluppa enormemente nel III secolo a.C., proprio in corrispondenza dello splendore alessandrino. Così **i metodi per fare oroscopi sono mesopotamici** ma la **dottrina è ellenistica**. Vengono dati nomi ai giorni della settimana ma l'ordine dei pianeti è diverso in Mesopotamia rispetto a quello che si ha in area ellenistica ed anche il giorno di 24 ore non è noto in Mesopotamia. E la dottrina ellenistica è fortemente influenzata, prima dai pitagorici, poi da Platone, quindi dagli aristotelici e, soprattutto, dagli **stoici** i quali consideravano gli astri di origine divina. E l'influenza di questi dei del cielo sembrava manifesta nell'alternarsi delle stagioni, nel montare delle maree, nella benevolenza o furia dei fenomeni meteorologici. Naturalmente anche alcuni dei grandi scienziati, come Ipparco, credevano alle influenze del cielo sulla Terra ma ciò non ha impedito loro di lavorare con un rigore geometrico eccezionale.

D'altro canto, **l'interesse per l'astrologia è servito per diffondere nel grande pubblico l'interesse per le cose del cielo**, interesse coltivato da importanti personalità del passato, come ad esempio **Cicerone** (*De natura deorum*), che scrissero opere di divulgazione astronomica a vari livelli di mediocrità. Siamo vicini alla decadenza alla quale si accompagneranno tutti i misticismi, le magie, le religioni.

I MECCANICI DI ALESSANDRIA

L'età alessandrina vide la nascita della scienza della meccanica, dello studio sistematico e teorico delle macchine, con l'abbandono del puro empirismo e dell'interpretazione ingenua della realtà. Ora si costruiscono teorie elaborate, si formalizza, si introduce la matematica come strumento che permette di prevedere determinati esiti e quindi far capire prima se una data cosa è fattibile e fino a che punto potrà essere utile. E tutto ciò permetterà delle realizzazioni stupefacenti. In proposito vi sono discussioni importanti da fare per sfatare una delle cose che più stancamente ed ormai in modo poco meditato vengono fatte. Si parla di greci come di inventori della statica, quasi che la meccanica non inglobasse una dinamica. E gli esempi non mancano se solo si pensa al lancio di oggetti con catapulte ed allo spostamento di grandi masse mediante macchine

Nella scienza ellenistica la meccanica è strettamente connessa alla geometria. Diogene Laerzio afferma che Archita (nella prima metà del IV secolo a.C.) non solo aveva introdotto per primo elementi di meccanica nello studio della geometria (usando linee generate da figure in moto nella costruzione dei due medi proporzionali tra due grandezze), ma aveva anche per primo trattato questioni di meccanica servendosi di principi matematici.⁽¹³⁾ □□Lo stretto legame tra geometria e meccanica, intese come due teorie scientifiche, è chiaro in **Archimede**. Innanzitutto Archimede, nel trattato Sull'equilibrio delle figure piane, in cui fonda lo studio delle macchine semplici, trae dalla geometria non solo la forma generale dello schema deduttivo, ma

anche molti risultati tecnici particolari. Inoltre, cosa per noi ben più sorprendente, **Archimede usa le leggi della meccanica per scoprire teoremi di geometria.**

Un altro *meccanico* ed *ingegnere* di Alessandria che, per quanto ho in precedenza anticipato, pur essendo già molto posteriore e dentro il periodo della decadenza, merita di essere discusso è **Erone di Alessandria (I secolo d.C.)**. L'opera che gli è attribuita è vasta e ricopre i più svariati campi della scienza e della tecnica.

Nella *Pneumatica* ci troviamo di fronte a dispositivi per realizzare i quali vi è l'elaborazione di una quantità di concetti che riguardano l'energia dell'aria compressa e riscaldata, del vapore; l'uso di valvole, stantuffi, sifoni, ruote dentate, carrucole, viti di precisione, cremagliere, catene di trasmissione, eliche e di tutti i meccanismi che sono certamente entrati nell'uso pratico durante il periodo alessandrino (ruote dentate viti, viti senza fine, ingranaggi demoltiplicatori).

Osserviamo anzitutto che **la tecnologia descritta da Erone è troppo complessa per essere attribuita a un singolo inventore**. Anche quando tratta argomenti teorici, d'altra parte, Erone ci appare sempre più un compilatore privo di originalità via via che le nostre conoscenze sulla scienza ellenistica aumentano. Nel caso dei procedimenti "algebrici", dei quali una volta era considerato l'inventore, la decifrazione di testi cuneiformi ha rivelato che si trattava di procedimenti usati da lungo tempo in Mesopotamia; la formula di Erone per calcolare l'area di un triangolo è attribuita ad Archimede dal matematico arabo al-Bīrūnī; le *Definizioni di Erone* sono esplicitamente una compilazione divulgativa; il principio dei vasi comunicanti, ancora attribuito a volte a Erone, non solo è implicito nel postulato di Archimede, ma era certamente alla base delle condotte forzate ellenistiche costruite secoli prima di Erone. Gli esempi potrebbero continuare. Il contributo personale di Erone può aver riguardato al più alcune delle applicazioni descritte, ma non la tecnologia di base usata. L'uso da parte di Erone della tecnologia meccanica e dei fluidi è basato sulle teorie scientifiche della meccanica, dell'idrostatica e della pneumatica, **risalenti tutte e tre al III secolo a.C.** Allo stesso secolo risalgono sia elementi di base usati da Erone, quali viti di precisione, ruote dentate e valvole, sia lo straordinario sviluppo tecnologico provato, tra l'altro, dalle testimonianze sulle costruzioni navali e le macchine belliche. Vi sono in definitiva tutti i motivi per ritenere che la tecnologia descritta da Erone risalga in massima parte ai secoli III e II a.C. I seguenti indizi fanno inoltre sospettare che Erone descriva un'antica tecnologia che ai suoi tempi si era già in gran parte perduta. Sia la meccanica che la pneumatica erano nate in stretta connessione con la tecnologia ed entrambe avevano permesso sin dal III secolo a.C., come abbiamo visto, la progettazione di molte macchine economicamente utili. Ma Erone è noto anche come studioso occupatosi di geodesia (scienza che si occupa della misura e della rappresentazione della Terra) e matematica ed ancora oggi si studiano teoremi a lui attribuiti. La **formula di Erone** permette di calcolare **l'area di un triangolo conoscendo la lunghezza dei suoi tre lati a,b,c**. Questa formula è molto usata perchè rende più facile il calcolo delle aree. Essa non viene impiegata solo nei triangoli, ma anche nei poligoni irregolari, dopo averli scomposti in triangoli, proprio come si vede nella figura [molto diffuso è il suo impiego nelle misure dei terreni].

LA FINE DELLA RIVOLUZIONE ELLENISTICA

L'espandersi dell'Impero di Roma mise fine al miracolo ellenistico. Qualcosa restò ed anche qualche personaggio di rilievo, come **Claudio Tolomeo**, ma inesorabilmente, a partire dalla seconda metà del secondo secolo a.C. iniziò un inarrestabile declino. Provo ora a dire qualcosa sulle cause ed a fare qualche considerazione. Alcuni riferimenti possono essere utili. Nel 212 era stata saccheggiata Siracusa. Per molti anni Roma continuò a distruggere e saccheggiare molte città di cultura alessandrina. Gli abitanti venivano resi in massa schiavi di Roma ed erano la merce colta per i ricchi patrizi che li assegnavano come istitutori per i figli i quali, crescendo erano un poco meno *barbari*. I libri, depredati da ogni biblioteca meno che da quella di Alessandria, facevano parte del bottino ma spesso, a parte gli schiavi greci, non vi era chi fosse in grado di

leggerli, anche se erano un bell'ornamento in casa di ricchi barbari di Roma. Servivano divulgazioni senza troppi conti e complicazioni. Ed abbiamo visto che ciò gradualmente si fece. Apprezzate erano la letteratura e la poesia. La stessa filosofia suonava strana e forse pericolosa per il potere quando era compresa; e proprio perché era complicato seguire le differenti argomentazioni ci si ferma su Aristotele, Platone e Pitagora (quest'ultimo, grazie alla numerologia dei neopitagorici, permette ancora una flebile esistenza della matematica). Il ciclo distruttivo si concluse nel 146 a.C. quando Roma si impadronì di tutto con la distruzione di Cartagine e Corinto. Naturalmente i sovrani ellenistici (Tolomeo VIII) trovarono modo di ossequiare il padrone romano e lo aiutarono con la cacciata della comunità greca da Alessandria. Vi fu una diaspora, una fuga, soprattutto verso le uniche strade aperte, quelle che portavano ad Oriente. Ed una comunità scientifica, radicata dal suo contesto è finita per sempre. Con Roma, alcuni fenomeni di irrazionalismo, mantenuti al margine dalla cultura positiva, avanzarono inesorabilmente. Gli apparati di potere dei regni ellenistici avevano optato per divinizzare l'autorità cui si dedicavano culti appositi; lo Stato aiutava al diffondersi di superstizioni; le prime conoscenze chimiche mescolate con la sempiterna magia originavano l'alchimia

C'è anche una conseguente caduta dell'economia dell'intera area mediterranea, precedentemente facente capo ad Alessandria. Ora è sempre Alessandria che produce merci e le esporta a Roma (più di quante ne partano da Roma verso Alessandria, come attestano varie testimonianze dai porti di Roma) ma i benefici di tali commerci tornavano a Roma, ad esempio, mediante il sistema di tassazione.

I romani colti che si avvicinavano a quella cultura ma ne capivano molto poco. Anche chi secoli dopo, come **Seneca e Plinio**, era affascinato dalle opere scientifiche, riusciva a leggere solo le conclusioni tralasciando procedimenti logici e metodo. Descrivevano i risultati eclatanti, come oggi fanno i giornalisti che parlano di scienza, ma dimenticavano i principi, la teoria, la fatica e la scuola che li produceva.

In questo dilagare di impoverimento culturale a cascata, la **vittima designata era la matematica** che faticosamente si faceva strada uscendo dal fecondo terreno geometrico, intersecandolo con l'aritmetica, con i metodi analitici e con notazioni più avanzate. Tutto finito.

Nel 46 a.C. fu saccheggiata Rodi, uno degli ultimi baluardi ellenistici; nel 30 a.C. fu conquistata Alessandria (anche se una qualche autonomia fu concessa alla città, tanto da sopravvivere addirittura all'Impero romano). A partire dal III secolo d.C. riuscirono a fare il deserto nel mondo completando l'opera di **distruzione dell'ultimo tempio di quella cultura: la biblioteca di Alessandria.**