

L'INVENZIONE DELL' UNIVERSITAS

Nata dall'esempio delle corporazioni commerciali e dei mestieri, l'universitas (totalità) ha origine dal concreto bisogno di promuovere e garantire l'attività e i diritti di docenti e studenti delle scuole cattedrali. Le Università nascono quindi come **compagnie di docenti o di studenti, o di entrambe** le categorie (*universitas magistrorum, universitas scholarium, universitas magistrorum et scholarium*).

Ben presto il significato diviene così consueto che basterà il termine "Università" per indicare un insieme di persone, costituite in un'associazione "legalmente riconosciuta", che individua un preciso corso di studi. Sono quattro le facoltà tradizionali: arti, medicina, diritto e teologia.

L'Università è una delle "invenzioni" più significative del Medioevo europeo e contribuisce a un rinnovamento e diffusione delle conoscenze che **non ha paragoni** nelle civiltà coeve come la Cina e l'Islam.

I fattori alla base di questa nuova trasmissione del sapere sono:

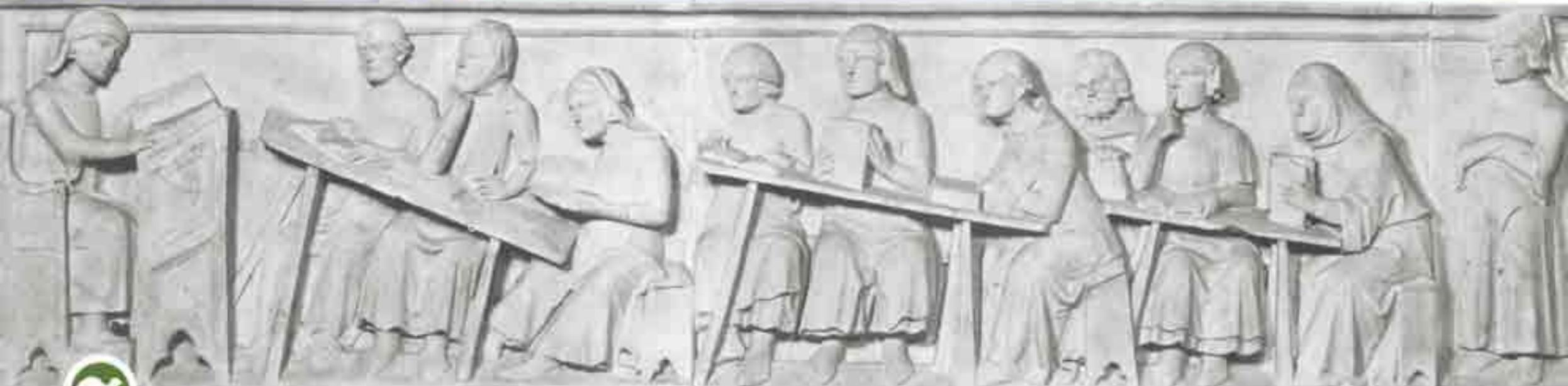
- un **curriculum** di studi innovativo grazie alle traduzioni in latino della **scienza greco-araba**;
- una **preminenza** dello studio della **Filosofia naturale** all'interno della facoltà delle arti per la prima volta un'istituzione è interamente dedicata all'insegnamento della scienza; ma ancora più importante è che la filosofia naturale sia ritenuta **propedeutica** rispetto alle facoltà "maggiori": medicina, diritto e teologia;
- una **modalità d'insegnamento** che alla *lectio* (lezione) ordinaria fa seguire una *disputatio* (discussione) su vari problemi o *questiones*, in cui anche gli studenti diventano partecipi e co-protagonisti; alla fine il maestro risolve la questione e risponde alle obiezioni degli studenti;
- la sostanziale **accoglienza positiva** della filosofia naturale greco-araba da parte dei teologi e della Chiesa.

Le "questioni" affrontate nel XII e XIII secolo saranno portate avanti nelle Università rinascimentali e rappresenteranno l'*humus* naturale da cui dipendono molti concetti fondamentali della scienza moderna.



Il Merton College di Oxford, culla della matematica medievale.

Lectio ordinaria in una università medievale (ritratto dalla tavola di Cino da Pistoia)



LA LUCE COME "MODELLO"



"Ritengo che la forma prima dei corpi, che alcuni chiamano corporeità, sia la lux. La lux infatti si diffonde da sola in ogni direzione, così che, se non si interpone un corpo opaco, da un punto di luce si genera istantaneamente una sfera di luce grande quanto si voglia."

"La luce dunque, che è la prima forma nella materia prima creata, al principio del tempo si espandeva, moltiplicandosi infinitamente per ogni dove e diffondendosi uniformemente in ogni direzione, distribuendo con sé la materia, che non poté abbandonare, in uno spazio grande quanto la macchina dell'universo."

Secondo Grossatesta il punto originario di materia prima era una sorta di atomo che, attraverso la moltiplicazione infinita nelle tre dimensioni determinata dalla lux, diede origine a linee, superfici, spazi solidi. L'espansione della materia è uniforme in ogni dimensione, dunque la forma risultante è quella di una sfera.

Alcuni storici della scienza fanno risalire a **Roberto Grossatesta** le origini del metodo sperimentale moderno. In effetti la varietà dei suoi interessi scientifici lo ha portato a comporre saggi su: il calore, la natura dei colori, la generazione dei suoni, le comete, le maree, il moto degli astri, l'arcobaleno. In particolare nel *De luce* Grossatesta presenta una originale cosmogonia fondata proprio sull'azione della "luce": cercando di spiegare l'origine del cosmo a partire da un punto originario di materia primordiale alla quale il Creatore avrebbe impresso un'unica forma prima, chiamata lux. La cosmologia del *De luce* esprime uno degli elementi chiave della filosofia naturale

di **Grossatesta**: tutte le caratteristiche del mondo naturale derivano da una forma universale che infonde alla materia il comportamento geometrico tipico della luce. Ne consegue che le leggi dell'ottica geometrica costituiscono il modello di ogni processo di causalità naturale.



Roberto Grossatesta (Stradbroke, Inghilterra, 1168 - Lione 1253). Studiò a Oxford, dove poi divenne cancelliere e maestro di teologia. Nel 1235, nominato vescovo di Lincoln, dovette interrompere l'attività di docente. Partecipò al Concilio di Lione nel 1245. Profondo conoscitore del greco, tradusse l'etica Nicomachea di Aristotele e vari scritti di Giovanni Damasceno, Dionigi Areopagita e Massimo di Crisopoli.

Propagazione rettilinea

La retta è la linea più breve tra due punti, dunque trasmettere gli influssi naturali attraverso tale linea permette di "economizzare" energia.

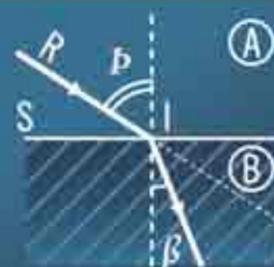
Riflessione

Sempre per il principio di economia, la natura predilige l'uguale al disuguale, dunque l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.



Rifrazione

Quando il raggio incontra un mezzo più denso, il suo cammino si avvicina alla linea perpendicolare, perché questa è la linea più diretta che permette di disperdere meno energia e dunque di "penetrare" con più forza. Tanto più il secondo mezzo è denso, tanto più il raggio rifratto tende ad allontanarsi dal suo cammino originario.



Le leggi dell'ottica di Grossatesta

"Vi è la massima utilità nel trattare di linee, angoli e figure, poiché senza queste cose è impossibile conoscere la filosofia naturale. Esse valgono nell'intero universo e nelle sue parti, e valgono anche per le proprietà che si attribuiscono alle cose, come il moto retto e circolare."

Secondo **Grossatesta** i corpi si inviano vicendevolmente influssi sotto forma di "raggi", in base ad alcune leggi che accordano i teoremi della geometria di Euclide con un "principio di economia", secondo il quale "la natura opera nel modo migliore e nel modo più breve possibile".

A fianco riportiamo tre esempi di leggi dell'ottica, secondo l'interpretazione di **Grossatesta**.



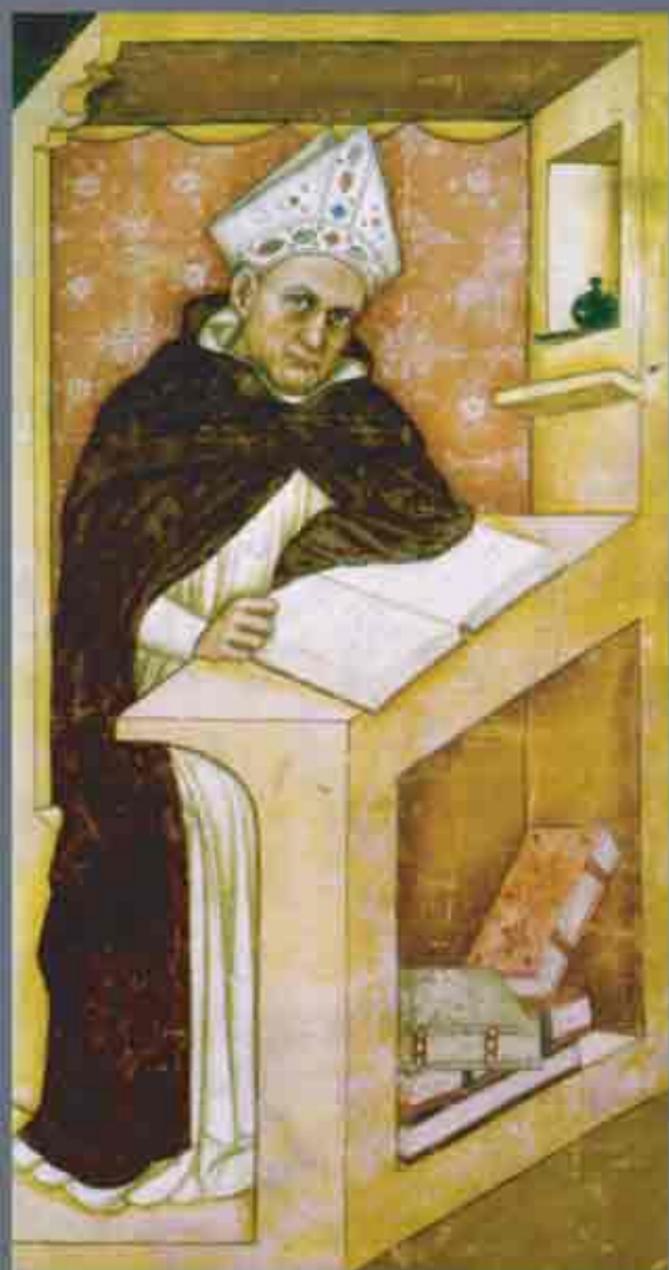
IL REALISMO CRITICO DI ALBERTO MAGNO

Quando viene chiamato a ricoprire una delle due prestigiose cattedre dell'ordine domenicano a Parigi, **Alberto** è già uno scienziato affermato: nel suo itinerario culturale c'è tutto il corpus aristotelico insieme a una approfondita conoscenza degli altri autori classici e contemporanei. Ma c'è anche un enorme bagaglio di **osservazioni scientifiche** condotte "sul campo", approfittando dei numerosi viaggi (spesso a piedi) in tutta l'Europa. **Alberto** è convinto dell'importanza del contatto diretto con la realtà e della possibilità di avanzare nella conoscenza della natura in forza di una osservazione meticolosa e metodica, tesa a cogliere anche il **minimo dettaglio** di un oggetto, per poi tentare spiegazioni mediante "ragioni naturali".

"In questo VI libro soddisferemo la curiosità degli studiosi più che la filosofia. La filosofia non può discutere i particolari ... Non si possono fare sillogismi su certe particolari nature, su cui soltanto l'esperienza può dare la certezza".



Dal 1248 al 1252 **Alberto** fu maestro di **Tommaso d'Aquino** a Colonia. Fu lui ad indicare il giovane Tommaso come candidato al dottorato in teologia a Parigi.



Alberto Magno (Lauingen, Baviera 1193 - Colonia 1280)
Filosofo e teologo domenicano, fu Vescovo di Ratisbona. Laureato a Parigi, fu incaricato di fondare e dirigere lo Studium Generale a Colonia. Canonizzato nel 1931 da Pio XI, nel 1941 fu nominato da Pio XII "Celeste Patrono dei Cultori delle scienze naturali". Le sue numerose opere, che gli valsero l'appellativo di Doctor Universalis, sono una mirabile sintesi del sapere dell'epoca. La sua personalità incarna, secondo le parole di Giovanni Paolo II, "Lo statuto di una intelligenza cristiana".

Il suo è un approccio integrale, orientato alla considerazione **unitaria** dei fenomeni; è l'approccio (di sorprendente attualità) "organico", quello che più si addice ai fenomeni biologici, che ne considera la complessità e la molteplicità di interazioni.

Lontano da ogni riduzionismo, egli si oppone al modello pitagorico e platonico di scienza, che punta esclusivamente sulla matematizzazione e sulla quantificazione della realtà. La sua assunzione di una metodologia aristotelica è però **critica e libera** da ogni subordinazione alla *auctoritas* che contrasti con il vaglio personale della ragione e con le evidenze sperimentali.

Alberto ha una chiara visione della pluralità dei metodi di conoscenza, sorretta dalla coscienza della parzialità di ogni specifico approccio e saldamente innestata sull'unità dell'esperienza di fede che valorizza tutti i particolari senza disperdersi nello specialismo.



Nelle classificazioni **Alberto** rielabora i criteri proposti da **Aristotele**, integrando i criteri di tipo riproduttivo con quelli morfologici ed ecologici.





SCIENTIA EXPERIMENTALIS

Soprannominato *Doctor Mirabilis* per la sua grande erudizione, **Ruggero Bacone** è un pensatore eclettico, studioso di matematica, ottica, astronomia, alchimia, medicina, grammatica, filosofia, diritto, morale, teologia. Le sue idee innovative sono sviluppate nell'opera più famosa, l'*Opus Maius*; una sintesi delle sue ricerche, inviata a papa **Clemente IV** nel 1267, presentata nel quadro di una visione sistematica e unitaria del sapere.

Alla base delle scienze egli pone la matematica, che costituisce "la porta e la chiave di tutte le scienze":

"In matematico si compiono esperienze universalmente valide intorno alle conclusioni, calcolando e tracciando figure geometriche, e questo modo di procedere si applica a tutte le scienze, compresa la scienza sperimentale, poiché non si può conoscere nessuna scienza senza la matematica."

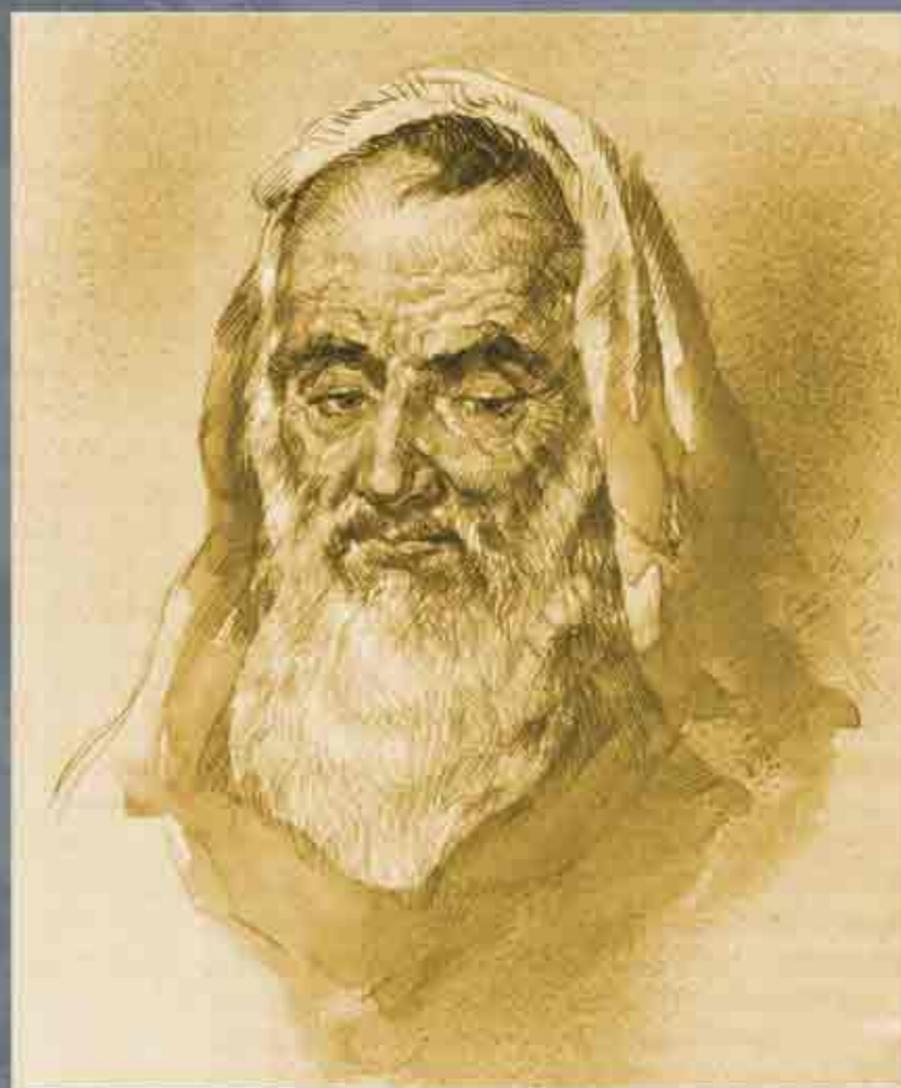


Si riscontra qui la profonda influenza di **Grossatesta** e del suo approccio neoplatonico, teso a una conoscenza quantitativa, generale e immutabile, indipendente dalle percezioni sensoriali (in contrasto, anche esplicito e aspro, con l'impostazione aristotelica di **Alberto Magno**).

Secondo **Bacone**, per una adeguata conoscenza della natura è però indispensabile affiancare alla matematica la pratica sperimentale (*scientia experimentalis*), che permette di scoprire le caratteristiche dei fenomeni, di verificare le conclusioni dei ragionamenti, di trovare applicazioni tecnologiche delle leggi naturali.

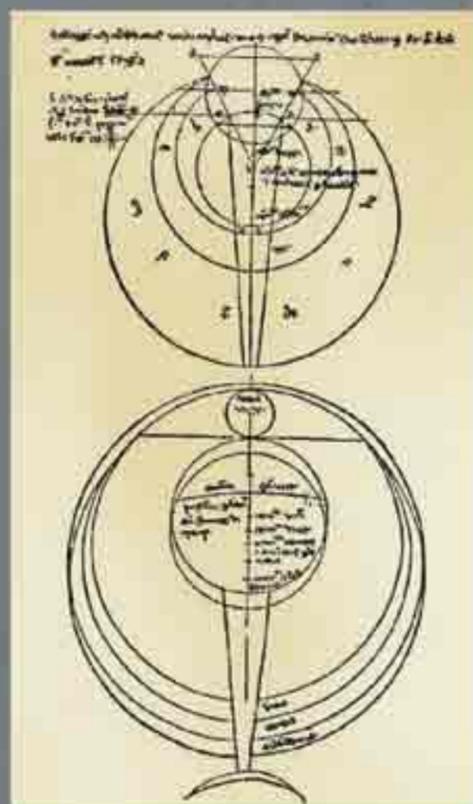
Non si può affermare che **Bacone** sia stato uno sperimentatore in senso moderno; e forse non ha neppure compiuto tutti gli esperimenti che descrive. Come pure non si può rilevare nel suo pensiero una contraddizione tra primato della matematica e valore dell'esperienza: se la matematica ci conduce alle conclusioni corrette, è l'esperienza che certifica tali conclusioni; anzi, è proprio l'esperienza che ci permette di cogliere il reale nella sua matematicità.

"L'uomo privo di esperienza non può pretendere di avere subito la spiegazione e di capire, non potrà infatti avere alcuna spiegazione se prima non farà esperienza."

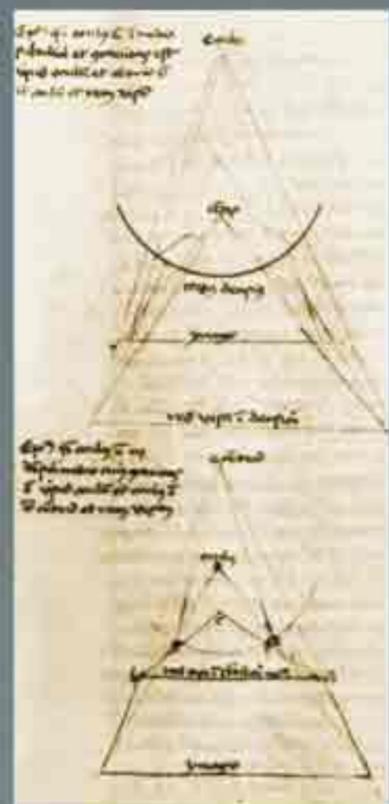


Ruggero Bacone (Inghilterra 1220- Oxford 1292)

Completati gli studi a Parigi e divenuto frate francescano, ritornò all'Università di Oxford dove conobbe il pensiero di **Roberto Grossatesta** e le opere di **Pietro Peregrino**, da lui considerato un *superbo sperimentatore*: questi incontri determinarono una svolta nella sua vita intellettuale, infondendogli un forte interesse per le scienze sperimentali e le applicazioni tecnologiche.



I meccanismi della rifrazione nell'occhio, descritti nell'Opus Maius.



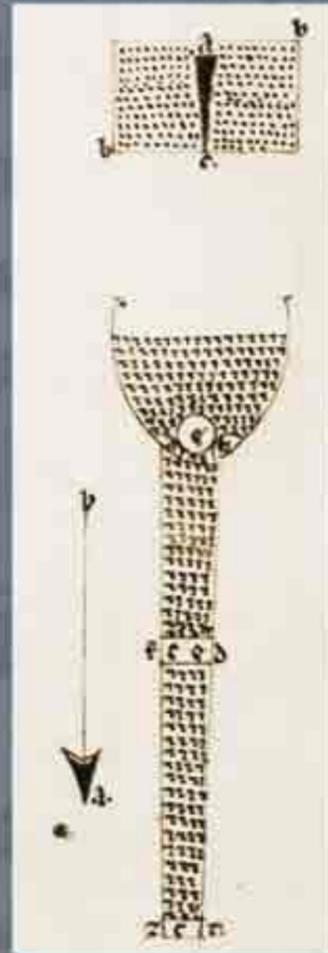
Schemi baconiani per la riflessione e rifrazione.



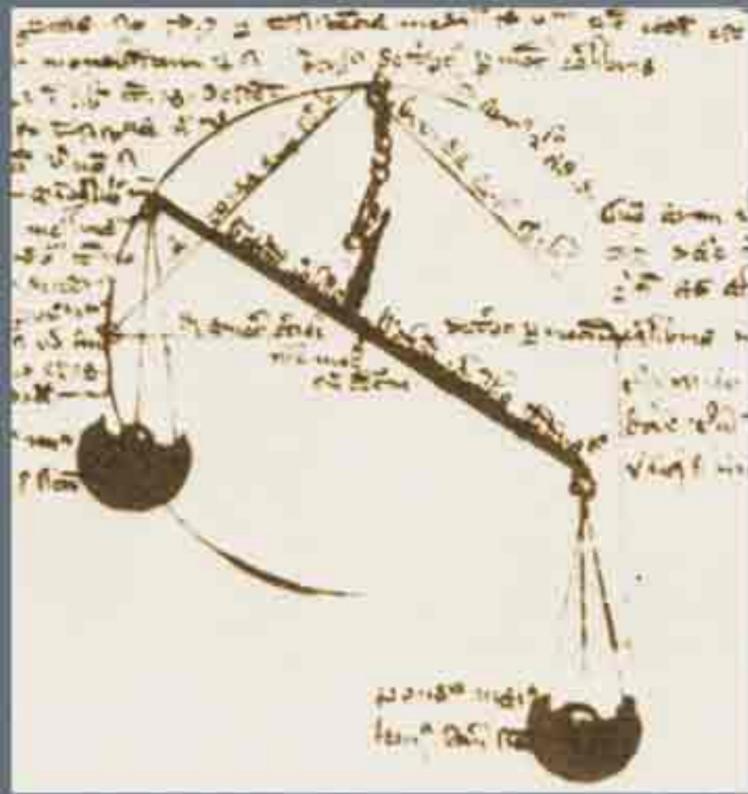


DIMOSTRAZIONI PESANTI

Nella Parigi universitaria del XIII secolo si sviluppano alcune delle idee sulle quali si fonderà nel Seicento l'edificio della meccanica. Sono le idee elaborate da **Giordano Nemorario** e dalla sua Scuola. **Giordano** arriva alla soluzione corretta di alcuni problemi di fisica, come quello del **piano inclinato**, che gli antichi si erano sforzati invano di trovare. **Giordano** trova che la forza che subisce un corpo posto su un piano inclinato è direttamente proporzionale a un fattore, compreso tra zero e uno, dipendente dall'angolo di inclinazione (che noi chiamiamo 'seno'). Offre anche un'interessante dimostrazione del principio della **leva**, servendosi del cosiddetto "assioma di **Giordano**": la potenza che solleva un peso a una certa altezza, può sollevare un peso k volte più pesante a $1/k$ volte l'altezza. È il primo accenno a quello che sarà poi, nella meccanica classica, il principio dei lavori virtuali.



Nel *Liber de ratione ponderibus*, **Giordano** descrive la caduta di un corpo in un fluido e la discesa di un flusso d'acqua che si restringe via via.



Descrizione geometrica di una bilancia a due bracci: gli estremi dell'asta sono su una circonferenza nella quale è inscritto un triangolo.

Un esempio di algebra "quasi simbolica" di **Giordano**

Giordano dà un primo importante contributo per il superamento dell'algebra retorica introducendo l'uso di lettere per indicare quantità generiche. Per esempio:

"Sia il numero dato a separato in x e y in modo tale che il prodotto di x e y sia un b assegnato. Inoltre, il quadrato della somma di x e y sia e , ed il quadruplo di b sia f . Sottraiamo questo f da e e per ottenere g , che sarà allora il quadrato della differenza di x e y . Prendiamo la radice quadrata di g , chiamiamola h . Allora h sarà la differenza di x e y . Poiché h è noto, si potranno trovare anche x e y ."

Col nostro linguaggio, **Giordano** si pone il problema di determinare due numeri di cui sia nota la somma e il prodotto: osserva che

$$(x-y)^2 = (x+y)^2 - 4xy$$

perciò la somma e il prodotto permettono di determinarne anche la differenza, e una volta note la somma e la differenza dei due numeri, è immediato determinare i due numeri stessi.

Non è ancora la nostra algebra simbolica, perché il risultato di ogni nuova operazione viene chiamato con una nuova lettera; assomiglia piuttosto all'uso greco antico di indicare con lettere i segmenti di una figura geometrica. Tuttavia il metodo di **Giordano** gli consente di eseguire un calcolo di portata generale, anziché sviluppare solo esempi numerici; e di giungere, per la prima volta in modo esplicito, alla formula per la risoluzione di un'equazione di 2° grado, che gli arabi ottenevano solo con esempi numerici.





L'IMPETUS DI BURIDANO

Nel muovere un corpo il motore gli imprime un certo impetus, ovvero una certa potenza capace di muoverlo nella direzione verso la quale il motore lo ha avviato, sia verso l'alto sia verso il basso.

Per Buridano è tale "potenza" che tiene in movimento un proiettile dopo che il lanciatore ha cessato di muoverlo; ma "a causa della resistenza dell'aria e della gravità della pietra" l'impetus "si indebolisce continuamente" e di conseguenza il moto diviene sempre più lento sino a estinguersi.

La dissidenza dalla fisica di Aristotele è cominciata.

Nelle lezioni parigine Buridano critica la spiegazione aristotelica del moto violento (che chiamava in causa solo l'azione dell'aria circostante il proietto) e postula la presenza nel proietto di una certa quantità di impetus trasmessa dal lanciatore.



"Benché a noi sembri che la Terra sulla quale viviamo sia in quiete, e il Sole ruoti intorno a noi sulla sua sfera, potrebbe essere vero anche il contrario, poiché i fenomeni celesti osservati rimarrebbero gli stessi. Se la Terra ruotasse noi non ci accergeremmo del suo moto rotatorio. La situazione sarebbe analoga a quella di una persona che si trovasse su una nave in movimento mentre questa sta sorpassando un'altra nave ferma. Se l'osservatore sulla nave in movimento immagina di essere in quiete, l'altra nave, che è realmente in quiete, gli apparirà in movimento. In modo analogo, se il Sole fosse effettivamente in quiete e la Terra ruotasse attorno a lui, noi avremmo la percezione opposta."



All'Università di Parigi il "maestro delle arti" Giovanni Buridano (ca. 1295-1358) commenta la Fisica, la Metafisica, *Il De coelo* e *Il De anima* di Aristotele.



Se la Terra ruotasse veramente da ovest a est, dovrebbe ruotare di una lega verso est mentre la freccia è in aria, per cui la freccia dovrebbe cadere al suolo alla distanza di circa una lega verso ovest. Poiché ciò non si osserva, se ne deduce che la Terra non ruota. Ma non potrebbe l'aria ruotare con la Terra, e trascinare con sé la freccia? Buridano non accetta questa spiegazione perché sostiene che, quando la freccia è proiettata verso l'alto, ha una sufficiente quantità di impetus da permetterle di resistere alla spinta laterale dell'aria in moto con la Terra.

Buridano si serve della teoria dell'impetus anche nell'affrontare i classici problemi di meccanica celeste. Alcuni filosofi naturali del XIII secolo rifiutavano le "intelligenze" come motori celesti, cercando cause interne; poiché la Bibbia non fa alcun riferimento a tali intelligenze, anche Buridano non le considera, ma suppone che Dio, all'atto della creazione, abbia impresso una quantità di impetus in ciascuna sfera. Nei cieli però l'impetus dura all'infinito, in assenza di resistenza del mezzo, con il che sembra prospettarsi per i cieli una sorta di inerzia circolare.

Buridano prende in esame anche il problema della rotazione terrestre, avanzando l'ipotesi - molto "moderna" - che si tratti di un problema di moto relativo. Alla fine tuttavia giunge alla conclusione che la Terra è ferma, pur ritenendo valida anche l'ipotesi che si muova. Il suo principale argomento contro la rotazione assiale del pianeta si fonda sempre sulla teoria dell'impetus: egli sostiene che la rotazione terrestre non è in grado di spiegare perché una freccia scagliata verticalmente verso l'alto cada sempre nello stesso punto dal quale è stata lanciata. Alcuni degli argomenti di Buridano saranno poi accolti da Copernico nella difesa del Sistema eliocentrico.



ALTERNATIVE PER LA “FABBRICA DEI CIELI”



Nicola Oresme è uno dei più grandi uomini di cultura del suo tempo, per la vastità degli interessi e per l'influenza esercitata in molti campi, anticipando idee che si sarebbero sviluppate secoli dopo. Allievo di Buridano, è amico e consigliere del re di Francia Carlo V, che gli chiede di scrivere anche in francese per sviluppare nel regno il gusto per la cultura. Strenuo oppositore dell'astrologia, è convinto che tutti i fenomeni debbano essere riconducibili a cause naturali. In ambito scientifico dà contributi rilevanti in matematica, fisica e astronomia; scrive anche un trattato di economia.

A lui risale la metafora dell'Universo come orologio meccanico, messo in moto dal Creatore; il cui impetus però - contrariamente a quanto asseriva Buridano - è destinato a esaurirsi, se il divino Orologiaio non interviene per sostenerlo.

Nel *Livre du ciel* Oresme non esita a formulare le seguenti quattro tesi scandalose:

1. Che non si può provare con alcuna esperienza che il Cielo si muove di movimento diurno e la Terra no.
2. Che non si può provare ciò nemmeno con il ragionamento.
3. Si può invece argomentare che la Terra si muove di movimento diurno e il Cielo no.
4. Che queste considerazioni sono utili per la difesa della nostra fede cristiana.

Particolarmente efficace è l'argomento di Oresme circa la relatività del moto:

«Semberebbe a noi continuamente che la parte in cui ci troviamo sia ferma e che l'altra si muova sempre, così come a un uomo che si trova su un'imbarcazione in movimento sembra che siano gli alberi fuori a muoversi. Analogamente se un uomo fosse in cielo, supponendo che si muovesse con moto diurno gli sembrerebbe che la terra fosse mossa di moto diurno, come a noi sulla terra sembra che faccia il cielo»

Sembra di leggere un brano di Galileo: in effetti Oresme anticipa varie idee poi riprese dal grande pisano.



Nicola Oresme (1320-1382)

Nato nel 1320 in Normandia, probabilmente nel villaggio di Oresme, dal 1348 studiò teologia a Parigi; nel 1356 fu gran maestro al Collège de Navarre; nel 1362 canonico di Rouen, dove già era maestro di teologia; nel 1377 fu nominato vescovo di Lisieux, dove morì nel 1382.



Alla fisica e all'astronomia sono dedicate le due opere in francese di Oresme, *Traité de la sphère* e *Livre du ciel et du monde* d'Aristote.

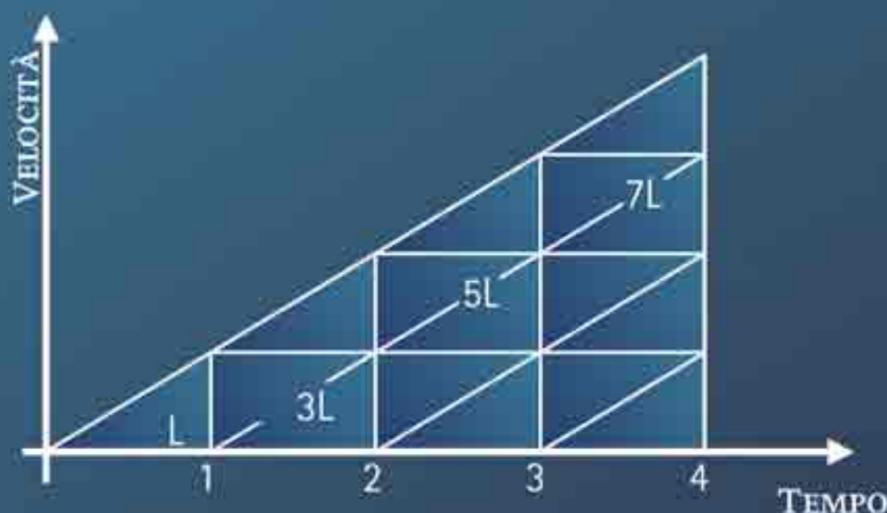
Studiando il moto uniformemente accelerato Oresme deduce anche la cosiddetta "legge dei numeri dispari", solitamente attribuita a Galileo:

"Gli spazi percorsi da un corpo che si muove di moto uniformemente accelerato, in intervalli di tempo successivi di ugual durata, sono proporzionali ai numeri dispari"

ossia: se nel primo intervallo di 1 secondo il corpo percorre uno spazio L , nel secondo intervallo di un secondo percorrerà uno spazio $3L$, nel terzo intervallo uno spazio $5L$, e così via.

Poiché la somma delle aree dà lo spazio totale percorso e poiché è noto che la somma dei primi n numeri

dispari dà n^2 , da questa legge si può dedurre (come fece in seguito Galileo) che, nel moto uniformemente accelerato, lo spazio totale percorso in un certo tempo è proporzionale al quadrato del tempo.



LA SFIDA DELL' INFINITO



Con i suoi contributi matematici Oresme anticipa varie idee di matematica non elementare.

Studia in modo sistematico l'operazione di **elevamento a potenza**, mette per primo in evidenza le proprietà delle potenze e introduce le potenze a esponente frazionario.

Anticipa l'idea che i numeri irrazionali siano "più numerosi" dei razionali; e usa questa idea come argomento per attaccare l'astrologia, basata sul presupposto che i rapporti tra certe grandezze legate ai moti celesti siano razionali, mentre "è probabile che siano irrazionali".

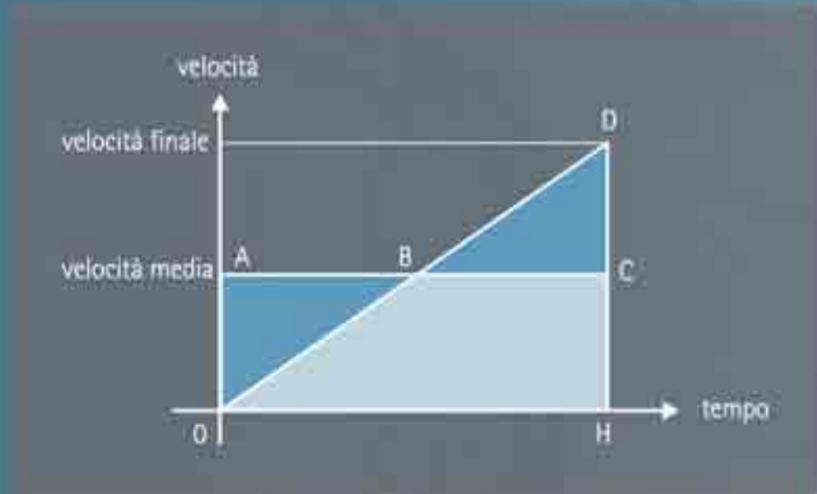
Ha per primo l'idea di **rappresentare graficamente** la velocità in funzione del tempo e di identificare l'area della figura con lo spazio totale percorso.

Una pagina del "Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum", dove Oresme distingue tra grandezze uniformi (= costanti), uniformemente difformi (=che crescono o diminuiscono con velocità costante), e difformemente difformi (=che variano secondo una legge arbitraria).



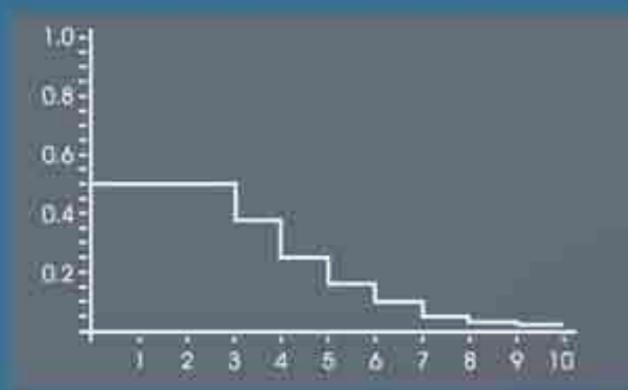
Oggi siamo abituati alla rappresentazione grafica di "funzioni", utilizzata sistematicamente a partire dal XVI secolo: per il Trecento era un'intuizione assolutamente nuova.

I procedimenti infiniti, soprattutto applicati alle grandezze continue, saranno trattati nel XVIII secolo con l'invenzione del calcolo infinitesimale a opera di Newton e Leibniz. Ma finché il concetto di funzione e la sua rappresentazione grafica non si affermarono, il calcolo infinitesimale non aveva terreno per nascere: nello studio delle **serie infinite** di Oresme vediamo quindi un grande avanzamento, che testimoniano una mentalità già pronta ad affrontare la sfida dell'infinito.



Ecco il ragionamento di Oresme, tradotto in linguaggio moderno: Se un corpo si muove di moto uniformemente accelerato partendo dalla quiete, le velocità acquisite in funzione del tempo sono rappresentate dai punti del segmento OD, e lo spazio totale percorso è dato dall'area del triangolo OHD; questa è uguale a quella del rettangolo OACH, la cui altezza CH rappresenta quindi la velocità media del corpo nell'intervallo di tempo; d'altro canto CH è la metà di DH, cioè la velocità media è la metà della velocità finale.

Oltre il moto uniformemente accelerato



È notevole il fatto che Oresme calcoli lo spazio percorso anche in situazioni più generali del moto uniformemente accelerato: considera il caso in cui la velocità durante la prima metà dell'intervallo di tempo sia 1, nel successivo quarto sia 2, nel successivo ottavo sia 3, e così via. Volendo calcolare lo spazio totale percorso, con un ingegnoso ragionamento geometrico, egli in sostanza calcola correttamente la somma della serie infinita:

$$\frac{1}{2} + \frac{2}{4} + \frac{3}{8} + \dots + \frac{n}{2^n} + \dots = 2$$

Oresme nota anche che, poiché

$$2^4 = 16 \text{ e } 2^5 = 32$$

ogni numero tra 16 e 32 si dovrebbe poter scrivere nella forma 2^x per qualche x compreso tra 4 e 5, "per continuità"; un'idea che anticipa quella di esponenti irrazionali (una comprensione rigorosa di queste idee giungerà solo intorno al 1870!).





OVER THE RAINBOW

Nel *De iride*, **Grossatesta** offre un interessante esempio di procedimento scientifico sperimentale.

Egli analizza tre ipotesi possibili: che i raggi che formano l'arcobaleno siano

1. *diretti dentro una nube concava in modo da illuminarla,*
2. *riflessi sulla convessità di una massa acquosa,*
3. *rifratti (deviati) attraverso strati della nube di densità crescente.*

Scarta poi le prime due:

1. *Se i raggi fossero diretti "ci sarebbe nella nube una illuminazione uniforme, non secondo la forma di un arco, ma secondo la forma dell'apertura che sta dalla parte del sole attraverso la quale i raggi entrano nella concavità della nube", il che contraddice l'esperienza.*
2. *Se fossero riflessi accadrebbe che tanto più il Sole è alto, tanto più alto sarebbe anche l'arcobaleno; che è il contrario di quanto si osserva.*

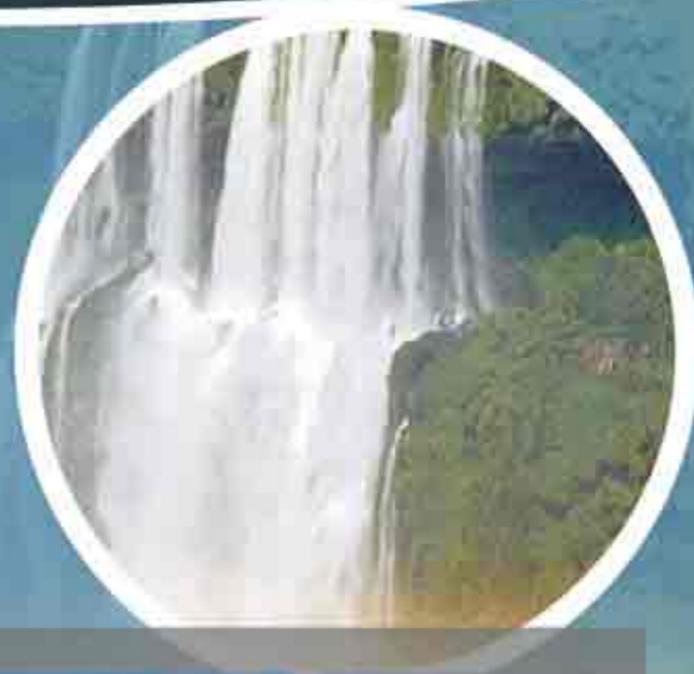
Resta dunque solo l'ipotesi della rifrazione. Qui sta il merito di **Grossatesta**, nonostante le poca chiarezza della sua spiegazione.

Il procedimento di **Bacone** è ancor più interessante. Egli parte dall'osservazione di quei fenomeni dove compare l'iride, come alcuni cristalli, spruzzi d'acqua, bocce d'acqua attraversate da raggi di sole, strati sottili di olio.

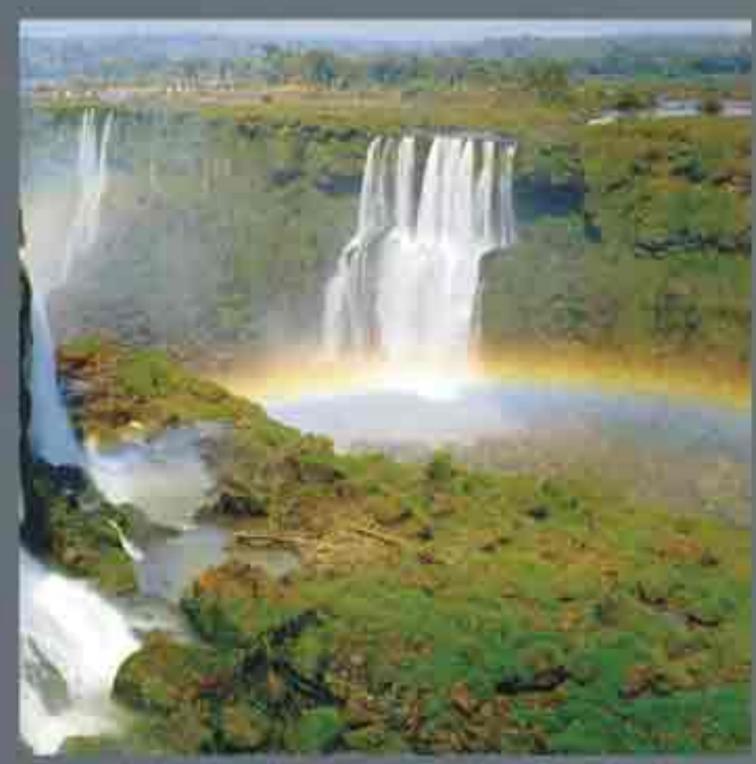
Non bastano però le osservazioni: **bisogna fare delle misure**; e proprio a lui risale la prima misura dell'altezza massima del Sole sull'orizzonte oltre la quale l'arcobaleno non appare (42°), rilevata con l'uso di un astrolabio.

Bisogna inoltre basarsi sull'esperienza: se guardando il Sole ci spostiamo, lo vediamo spostarsi con noi (ciò è dovuto alla grande distanza, per la quale i suoi raggi arrivano a noi pressoché paralleli); così accade anche per l'arcobaleno: "è impossibile che due persone vedano lo stesso e identico arcobaleno [...]. Tanti sono gli arcobaleni quanti gli osservatori".

Bacone tuttavia, come **Aristotele** e diversamente da **Grossatesta**, attribuisce la formazione dell'arcobaleno alla riflessione dei raggi solari su un gruppo di goccioline che varia con la posizione dell'osservatore.

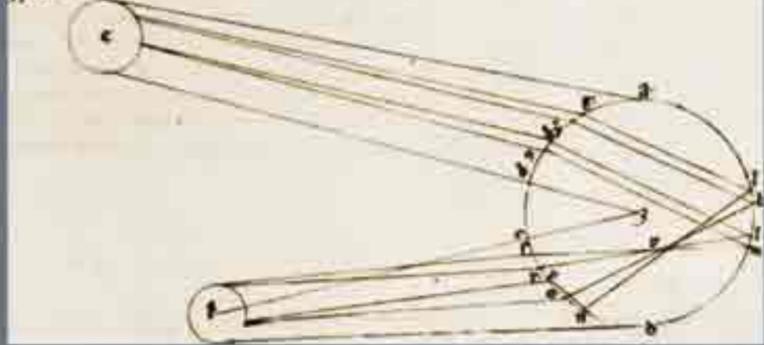


I medievali hanno affrontato l'arcobaleno a partire da alcune corrette descrizioni di Aristotele e dalla sua ipotesi che l'arcobaleno fosse l'immagine del Sole che si riflette dalla nube verso l'occhio dell'osservatore.



TUTTO IN UNA GOCCIA

Onise dicitur sic fctio e reflexio radiarum
sive.



Il cammino dei raggi in una goccia secondo Teodorico



Il tedesco Teodorico di Freiberg († 1311)

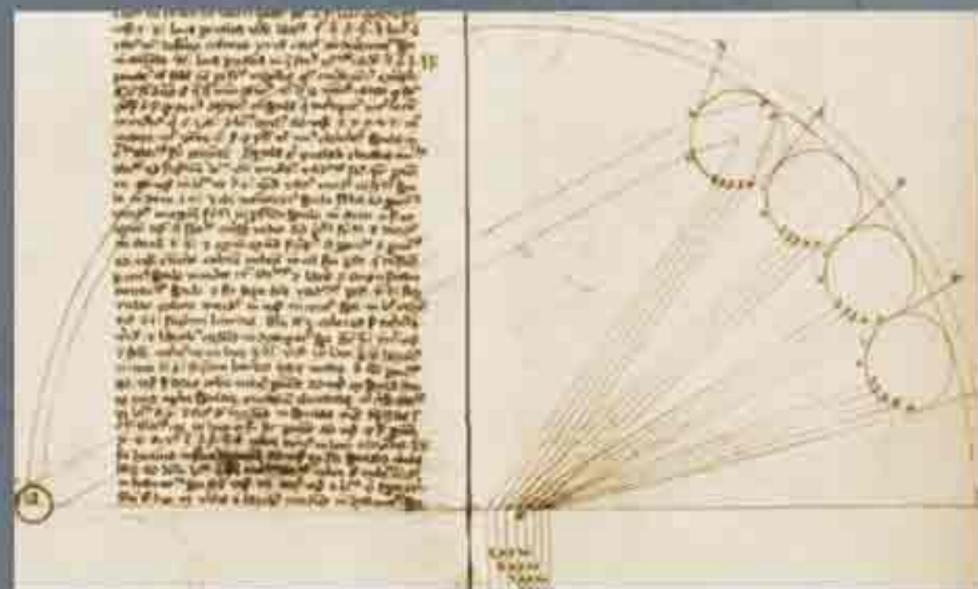
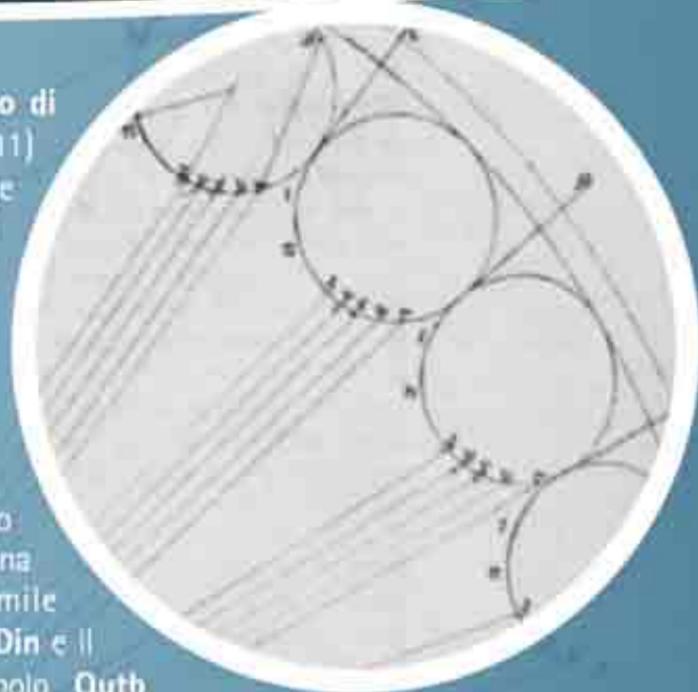
unifica, in qualche modo, le teorie di Grossatesta e di Bacone, sostenendo che nell'arcobaleno i raggi solari vengono riflessi e rifratti all'interno della stessa goccia di pioggia.

Negli stessi anni, in modo indipendente, arrivano a una spiegazione molto simile anche l'arabo Kamal Al-Din e il

suo discepolo Qutb Al-Din.

Teodorico è il primo a intuire che nella singola goccia avviene tutto ciò che spiega la formazione dell'arcobaleno: il fenomeno osservato nelle bocce d'acqua non è ciò che avviene nelle intere nuvole, bensì semplicemente in ogni goccia. Spiega così (correttamente) che l'arcobaleno **primario** è formato da un'unica riflessione del raggio sulla superficie interna della goccia; mentre quello **secondario** è prodotto da una riflessione doppia, che inverte l'ordine dei colori. Non tutti i raggi che escono dalla goccia raggiungono l'osservatore: Teodorico trova che solo per alcune posizioni della goccia (rispetto al Sole e all'occhio) i raggi diventano visibili.

Osservando i raggi che attraversano una boccia si accorge che per ogni posizione del globo possono essere visti raggi di un solo colore; ogni goccia nella nuvola è perciò responsabile di un solo colore e i diversi colori che raggiungono l'occhio provengono da gocce in diverse posizioni.

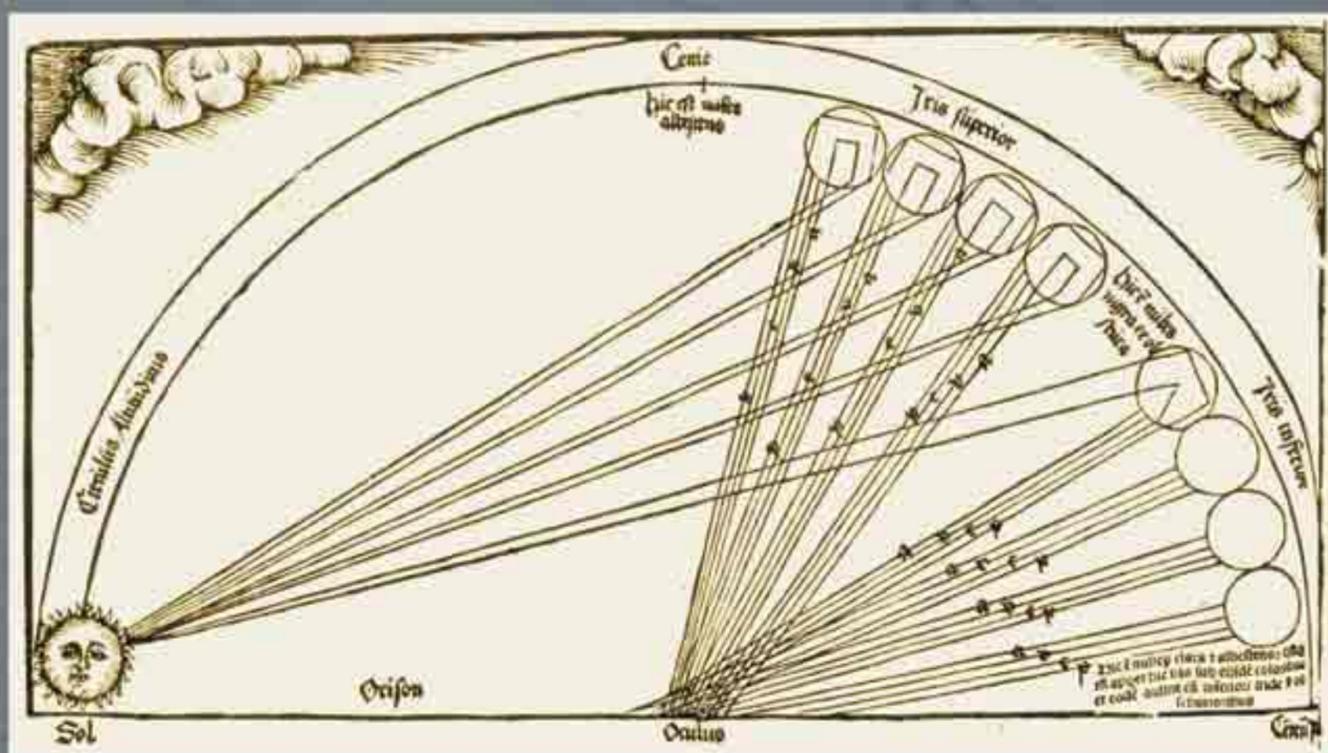


Spiegazione dell'arcobaleno primario nel De Iride.

Egli intuisce quindi che i colori sono legati all'angolo tra raggio entrante e raggio uscente.

I suoi tentativi di rendere quantitativa la teoria sono purtroppo inficiati da una serie di errori e approssimazioni; considera i raggi del Sole non paralleli e quelli in uscita dalle gocce paralleli; rappresenta il Sole e le gocce alla stessa distanza; e sottostima di molto l'angolo di massima altezza, valutandolo in 22° .

Ciò che manca a Teodorico, come a tutti i medievali, è la comprensione della formazione dei colori e del vero ruolo della rifrazione, da loro associata solo alla deviazione dei raggi e non alla dispersione, cioè alla deviazione dei vari colori ad angoli differenti.



Tentativo di spiegazione dell'arcobaleno secondario.

