

# LA STORIA DELLA LONGITUDINE

## (Di Leonardo Malentacchi)

### I° PARTE

(Riferimenti Geografici e storia della longitudine dalla Preistoria al Medioevo)

### INDICE GENERALE

1) Premessa.....	4
2) Introduzione .....	4
2.1) La Geografia .....	5
2.2) La Storia .....	6
3) La Navigazione .....	6
3.1) La Geografia .....	7
<b>3.1.1) La Terra Piatta</b> .....	7
<b>3.1.2) La Terra Sferica</b> .....	8
3.2) La cartografia.....	10
<b>3.2.1) Sistemi di riferimento geografici</b> .....	10
3.2.1.1) Meridiani e Paralleli .....	10
<b>3.2.1.1.1) I cerchi di riferimento</b> .....	11
3.2.1.2) Latitudine e Longitudine .....	12
3.2.1.3) Le proiezioni.....	13
3.2.1.4) La proiezione di Mercatore.....	16
3.2.1.5) La Ortodromica e la Lossodromica .....	18
3.3) L'equazione del tempo .....	20
3.3.1.1) I fusi orari .....	22
3.3.1.2) Linea di cambiamento di data.....	25
3.3.1.3) Ora legale e Ora Solare.....	27
3.4) Sistemi di riferimento celesti .....	28
<b>3.4.1) La sfera celeste</b> .....	28
3.4.1.1) Coordinate Sferiche .....	29
3.4.1.2) Coordinate Sferiche Polari.....	29
3.4.1.3) Classificazione centrica dei sistemi di coordinate .....	30
<b>3.4.2) Tipologia dei sistemi di coordinate</b> .....	30
3.4.2.1) Sistemi di Coordinate Locali .....	31
<b>3.4.2.1.1) Sistema Azimutale</b> .....	31
<b>3.4.2.1.2) Sistemi di Coordinate Orarie</b> .....	32

3.4.2.2) Sistemi di Coordinate Uranografiche .....	34
<b>3.4.2.2.1) Sistema Equatoriale Assoluto</b> .....	34
<b>3.4.2.2.2) Sistema Eclitticale</b> .....	36
<b>3.4.2.2.3) Sistema Galatticale</b> .....	37
<b>3.4.2.2.4) Sistema SuperGalatticale</b> .....	39
3.4.2.3) Altri sistemi centrici .....	39
3.5) Rilevamento delle coordinate geografiche .....	40
<b>3.5.1) Calcolo per la Latitudine di giorno</b> .....	40
<b>3.5.2) Calcolo per la Latitudine di Notte</b> .....	42
<b>3.5.3) Calcolo per la Longitudine</b> .....	44
4) La storia della longitudine .....	45
4.1) La cartografia: le prime mappe .....	45
4.2) Tipi di Materiale ad uso cartografico .....	48
4.3) La cartografia: le prime rappresentazioni del mondo .....	49
4.4) La più antica cartina Occidentale: la mappa di Soletto .....	51
4.5) I Peripli .....	52
4.6) La Prima Cartografia Greca .....	53
4.7) La Prime forme della Terra .....	56
4.8) La Misura del Meridiano .....	57
4.9) La geografia di Alessandro .....	58
4.10) Le prime coordinate .....	59
4.11) La distribuzione e nuova dimensione della Terra .....	60
4.12) Le prime proiezioni .....	61
4.13) Misura della longitudine .....	64
<b>4.13.1) Primo metodo di misura della longitudine: punti stimati</b> .....	64
<b>4.13.2) L'astrolabio Piano</b> .....	64
<b>4.13.3) Secondo metodo di misura della longitudine: eclissi.</b> .....	65
<b>4.13.4) Orologi ad Acqua.</b> .....	66
<b>4.13.5) Terzo metodo: posizione della Luna.</b> .....	69
<b>4.13.6) Tanawa</b> .....	71
4.14) Gli errori di longitudine di Tolomeo .....	73
4.15) La decadenza della cultura Occidentale .....	73
<b>4.15.1) Regressione Romana</b> .....	74
<b>4.15.2) Commercio Romano</b> .....	74
4.15.2.1) Tabula Peutingeriana .....	75
<b>4.15.3) Regressione Cristiana. La cultura Ellenica diventa il nemico di Roma.</b> .....	76
4.15.3.1) Uccisione della cultura: di Ipazia di Alessandria .....	77
4.15.3.2) Chiusura della scuola ellenica .....	81
4.15.3.3) Regressione della Geografia .....	82
4.15.3.4) La terra Piatta della topografia Cristiana .....	82
4.15.3.5) Il tabernacolo di Cosma Indicopleuste .....	84
4.15.3.6) Mappa mundi a T .....	85
4.16) Riscoperta della cultura ellenica .....	88
<b>4.16.1) Il salvataggio Arabo</b> .....	88
<b>4.16.2) La geografia del tardo medioevo</b> .....	89
<b>4.16.3) Risveglio Occidentale</b> .....	90

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Modello di terra piatta degli zionisti, e pubblicazione di una rivoluzionaria mappa .....	8
Figura 2	Sfericità della Terra .....	9
Figura 3	Meridiani e Paralleli.....	10
Figura 4	I cerchi meridiani e i Cerchi Paralleli .....	11
Figura 5	Latitudine e Longitudine.....	12
Figura 6	Metodi proiettivi geometrici .....	14
Figura 7	Esempio di sovrapposizione di diverse proiezioni.....	15
Figura 8	"Orbis terrae descriptio", 1569, di Mercatore .....	16
Figura 9	Sviluppo e proiezione della cartina di mercatore .....	17
Figura 10	Lossodromica (Rhumb line) e Ortodromica (Great Circle) sulla carta di Mercatore.....	19
Figura 11	Moto di rivoluzione della terra .....	20
Figura 12	Variazione media della durata del giorno dovuto all'orbita ellittica della Terra .....	21
Figura 13	Equazione del Tempo. Differenza tra Sole Medio e Sole Vero .....	22
Figura 14	Sistema dei fusi orari al 1995.....	24
Figura 15	Coordinate Sferiche .....	29
Figura 16	Sistema Altazimutale .....	31
Figura 17	Sistema di coordinate orario .....	33
Figura 18	Cerchio dell'Eclittica.....	35
Figura 19	Sistema di coordinate Eclitticale.....	37
Figura 20	Sistema di Coordinate Galatticale.....	38
Figura 21	Latitudine per Culminazione del Sole.....	41
Figura 22	Analemma, lo spostamento della proiezione del Sole al mezzogiorno medio .....	41
Figura 23	cerchio delle stelle attorno al Polo Nord Celeste .....	42
Figura 24	Altezza della costellazione polare in funzione della latitudine .....	43
Figura 25	Evento osservato da diverse zone della Terra .....	44
Figura 26	Pietra di Mezin Ucraina $\approx$ 13.000 a.C., e di Jebel Amud 8000-4000 a.C.....	46
Figura 27	Carta Topografica della città Turca di Catal Hyük risalente al 6200 BC.....	46
Figura 28	Tavola d'argilla della Città di Ga-Sur del 2500 BC. ....	47
Figura 29	Pianta di un campo neosumerico del XXI secolo a.C. ....	47
Figura 30	Miniere d'oro della Nubia. ....	48
Figura 31	Antica mappa delle isole Marshall realizzata con fibre di Palma e conchiglie. ....	48
Figura 32	Bastone intagliato Esquimese per rappresentare una linea di costa .....	49
Figura 33	Prima rappresentazione di un mappamondo terrestre. Tavoletta Babilonese del 400/600 a.C. ....	50
Figura 34	Carta babilonese nell'interpretazione tratto dal libro "Civiltà Sepolte".....	50
Figura 35	Traduzione Tedesca e Turca della mappa Babilonese .....	51
Figura 36	Mappa di Soletto .....	52
Figura 37	Riproduzione di Omero del mondo greco del 900 a.C.....	54
Figura 38	Ricostruzione della Carta di Anassimandro VI Sec. A.C. ....	54
Figura 39	Ecumene di Ecateo ~ 500 a.C. ....	55
Figura 40	Ecumene di Erodoto.....	56
Figura 41	Metodo di misura della lunghezza del meridiano da parte di Eratostene.....	57
Figura 42	Carta di Dicearco di Messene con prime Coordinate.....	59
Figura 43	Griglia di Eratostene .....	60
Figura 44	Proiezione di Tolomeo secondo Nicolò Germano, e confronto con la carta di Mercatore. ....	63
Figura 45	Astrolabio Piano Rinascimentale per uso a terra .....	65
Figura 46	Orologi ad acqua e a candela .....	67
Figura 47	Ricostruzione della Tanawa secondo il modello del Dr. Sentiel Rommel. ....	71
Figura 48	Metodo degli spostamento Lunari .....	72
Figura 49	Tabula Peutingeriana Segmento IV Italia Centro-Nord.....	75
Figura 50	Il tabernacolo e il cosmo di Cosma Indicopleuste .....	85
Figura 51	Mappe a T .....	86
Figura 52	Isidoro di Siviglia Mappa a T .....	87

## 1) Premessa

Questo documento è una dispensa realizzata a seguito di una mia conferenza svoltasi a Febbraio del 2005 presso la sede del gruppo astrofilo, SAF di Firenze, di cui faccio parte. Un ringraziamento particolare lo devo a due amiche che frequentano l'associazione, le quali mi hanno aiutato a correggere alcuni errori grammaticali e aggiustato varie frasi per rendere più scorrevole e comprensibile la lettura. Ma in particolare devo ringraziare un ex collega di lavoro, "Eloy Lugnani" che mi ha consigliato un testo: la "Longitudine" di Dava Sobel - BUR Saggi V° Edizione 06/2003. Il libro mi è piaciuto a tal punto che ho deciso di realizzare questa conferenza; consiglio a mia volta di leggerlo a chiunque interessi approfondire l'argomento. Il libro è scritto in modo semplice e la storia è raccontata come fosse un romanzo; è talmente coinvolgente che ho impiegato meno di una settimana per leggerlo. Per preparare questo documento, oltre al libro citato, ho preso spunto anche da Internet, riviste scientifiche e altri libri. Per chi rilevasse degli errori, o volesse aggiungere delle informazioni, o semplicemente scambiare qualche opinione, può scrivere a [Leonardo377@libero.it](mailto:Leonardo377@libero.it).

## 2) Introduzione

Lo sviluppo storico della geografia è sempre stato legato all'astronomia, lo dimostra il fatto che gli antichi geografi erano anche astronomi; ogni qualvolta si arrivava ad una innovazione per una rappresentazione celeste questa si applicava alla geografia e viceversa. In questa opera pertanto parlare di geografia è una scusa per argomentare anche di astronomia ed in particolare della storia della longitudine. Sin da quando l'uomo ha cominciato a scambiare la merce, spostandosi sul territorio, si è imbattuto in una grande necessità: individuare dei sistemi di riferimento geografici. Fintanto che si deve intraprendere un viaggio lungo la costa o attraverso dei sentieri battuti, una cartina può anche non servire. Ma quando si deve fare un viaggio per mare o attraverso un deserto, o attraverso un percorso non frequentato se mancano dei sistemi di riferimento sul territorio si rischia di non trovare la strada, e tante volte come storicamente è accaduto ne va a scapito della vita stessa. Pertanto l'uomo fin dall'antichità, e spinto da maggiori necessità per i viaggi in mare, si è prodigato a realizzare carte di riferimento sulla superficie della terra sempre più precise. Se la terra fosse piatta non sarebbe difficile realizzare delle carte perfette, ma essendo simile ad una sfera la difficoltà sta nel tradurre una superficie curva su di un foglio piano. Non basta effettuare dei rilevamenti sul territorio e riportare i vari punti di riferimento senza automaticamente commettere degli errori. Per un navigatore però non è sufficiente possedere una buona carta geografica, in mezzo al mare non vi sono riferimenti con cui confrontarsi. Per conoscere la propria posizione e riportarla sulla carta, l'uomo ha ideato le coordinate geografiche: la latitudine e la longitudine. Rimaneva il problema di come individuare le coordinate. Nella storia l'uomo ha tentato vari metodi per poter risolvere il problema. Ricavare la latitudine di un luogo è semplice: conoscendo il moto del sole durante l'arco dell'anno, la latitudine si ricava dall'altezza del sole (Culminazione); ancora più semplice è individuarla per mezzo dell'altezza della stella polare. Invece per l'altra coordinata, la longitudine, la soluzione non è stata così immediata. Per rendere l'idea della difficoltà che l'uomo ha incontrato, e dell'importanza per la sua rilevazione, basti pensare che il parlamento inglese nel 1714 offrì una ricompensa di 26.000 sterline (attuali 10 Milioni di Euro) a chi avesse risolto il problema. Schiere di scienziati, inventori, di tutti i tempi e di tutte le nazioni, si sono prodigati alla realizzazione di sistemi in grado di individuare la longitudine. La spinta a tale ricerca, indotta dallo stimolo della ricompensa, ha determinato lo sviluppo in molti settori, della tecnica e della scienza. Uno dei settori privilegiati nel campo della ricerca è stata l'astronomia. Molti astronomi famosi

hanno cercato la soluzione al problema: Galileo, Cassini, Huygens, Newton e Halley. L'astronomia deve molto alla ricerca del sistema per individuare la longitudine: sotto questa spinta sono stati costruiti molti osservatori, e si è sviluppata quella conoscenza che noi oggi abbiamo ereditato. Benché l'astronomia abbia prodotto enormi sforzi, alla fine la risoluzione arrivò con quello che oggi viene chiamato un banale orologio. L'attuale consuetudine tecnologica non rende giustizia all'opera; oggi al polso portiamo degli orologi che sono enormemente precisi e affidabili ma pochi secoli fa non esisteva la tecnologia per realizzare un buon orologio; un orologiaio autodidatta, l'inglese John Harrison, ha impiegato 45 anni per riuscire a realizzarne uno utilizzabile per la navigazione. La tecnologia ha fatto dei passi così in avanti che oggi non è più necessario un orologio per poter individuare la posizione, essa ci viene fornita da un servizio satellitare chiamato GPS. Rispetto al computo manuale a cui erano obbligati gli antichi marinai, la precisione ottenuta con il GPS è di alcune decine di metri. Ma la precisione potrebbe essere molto maggiore: il sistema è stato approntato dai militari americani, volutamente vengono introdotti degli errori perché non si riesca ad ottenere precisioni superiori. Inoltre, la costellazione dei satelliti, in qualsiasi momento può essere spenta o l'errore può essere implementato a piacimento, a tal punto che molte applicazioni civili stanno faticando a partire. Per potersi liberare da questo monopolio americano e dalla spade di Damocle di un'interruzione del servizio, l'Europa ha avviato il progetto GALILEO. GALILEO è un sistema simile al GPS che offrirà nel futuro la possibilità di sviluppare ulteriori servizi ed usi per potersi muovere nel territorio, grazie alla precisa conoscenza della nostra posizione (della latitudine e della longitudine) questa volta con una precisione inferiore ad 1 metro.

## 2.1) La Geografia

La Longitudine, insieme alla Latitudine, è una coordinata geografica che serve per poter individuare un punto sulla superficie della terra. Pertanto parlare della storia della longitudine appare un argomento prevalentemente geografico, ma in realtà vedremo come si aprono dei risvolti verso altri settori, e specialmente nell'Astronomia. Oggi banalmente siamo in grado di determinare la nostra posizione attraverso una conquista tecnologica, il GPS, che fa sembrare semplice il problema. Attraverso questo giocattolo tecnologico, con la modica spesa di circa 300-400 Euro di oggi, e domani ad una cifra sicuramente molto inferiore da trovarlo inserito ovunque, dalla macchina al cellulare, si può comprare un palmare, un piccolo computer che appunto può essere tenuto nel palmo di una mano, che ci indica la nostra posizione in qualsiasi luogo della terra con un errore attuale pari a non più di 10 metri. In passato non era ovviamente così, l'uomo non era in grado di stabilire la propria posizione con tale precisione. In realtà, per quanto riguarda la latitudine, non è mai stato un problema: sin dal passato si sono trovati vari metodi semplici che la identificavano. Per la Longitudine invece si è dovuto effettuare numerosi calcoli con svariati metodi. Ed è per questo che si parla di storia della longitudine e non di storia della latitudine. Per la latitudine ci sarebbe ben poco da raccontare. Quando fissiamo un appuntamento in un luogo sulla terra, come ad esempio in Piazza Duomo a Firenze, per la sua identificazione non ricerchiamo le sue coordinate geografiche ma ci basiamo essenzialmente sul nome. Chiunque a Firenze sarebbe in grado di fornire delle indicazioni per arrivarci e senza coinvolgere l'astronomia o metodi alternativi. E' sufficiente seguire alcune strade di riferimento, ed inoltre abbiamo a disposizione anche cartelli stradali che ci indicano il percorso.

## 2.2) La Storia

La storia della longitudine è stata legata alla storia della navigazione, che a sua volta dipendeva dalle necessità commerciali. Fintanto che l'uomo effettuava scambi solo all'interno del proprio villaggio o presso territori circostanti la navigazione non si sviluppava, ma quando l'uomo ha cominciato ad avere relazioni con civiltà molto lontane che potevano essere raggiunte più velocemente tramite una imbarcazione è sorto il problema dei punti di riferimento, di conoscere le proprie coordinate di longitudine e latitudine. La storia dell'evoluzione dei metodi di risoluzione della longitudine seguiva in tal modo gli alti e bassi di detti scambi. Se in un'epoca storica diminuivano gli scambi commerciali, anche le conoscenze sulla longitudine venivano meno, mentre nei periodi di intensi commerci, anche lo studio di nuove tecniche di navigazione rifiorivano. La storia della longitudine dipende anche dalle convinzioni religiose che in qualche modo in passato hanno rallentato le conoscenze, minando la base delle coordinate di spazio sulla superficie curva della terra. La Chiesa obbligava a seguire dei modelli di interpretazione presenti sulla bibbia, si doveva affermare che la Terra è piatta, altrimenti si correva il rischio di essere condannati dalla santa inquisizione. A dimostrazione di come sia difficoltoso accettare la realtà della forma della terra, ancora oggi vi sono diverse sette, come gli zionisti, che la ritengono non essere sferica, ma piatta. Ma la storia della longitudine non può che essere la storia delle conoscenze scientifiche dell'uomo. Al fine di poter identificare un metodo valido, ha dovuto accrescere un substrato di conoscenze di base non irrilevante. Via a via che ha accumulato tale background, si è avvicinato alla soluzione. La storia ha visto che gli sforzi operati per la risoluzione della longitudine hanno comportato anche lo sviluppo della cartografia e quindi della navigazione. La storia della longitudine diventa anche la storia delle strumentazioni scientifiche che si sono costruite appositamente. Inoltre dato che i vari metodi hanno coinvolto gli astri, diventa anche la storia dell'astronomia e degli osservatori astronomici, appositamente costruiti per individuare la longitudine e migliorare la navigazione. Per poter calcolare con migliore precisione e con più lunga previsione la posizione degli astri, si è dovuto sviluppare modelli matematici che potessero simulare il loro moto. Per rappresentare più correttamente la topografia terrestre si è sviluppata anche la geometria. Ma se questo vi sembra ancora poco, la storia della longitudine è stata anche la storia dell'orologio ed in particolare modo del cronometro. Sicuramente ogni disciplina si sarebbe sviluppata comunque o per altre esigenze ma sicuramente la longitudine ha costituito il motore, la marcia in più per svilupparli più velocemente. Per non parlare poi della storia dei vari metodi moderni attraverso le radioonde e i sistemi satellitari.

## 3) La Navigazione

I marinai per poter identificare la longitudine devono costruirsi un bagaglio culturale abbastanza vasto:

- Devono saper leggere una carta geografica e pertanto conoscere la scienza cartografica.
- Devono conoscere i sistemi di coordinate sia terrestri che celesti.
- Devono conoscere il moto degli astri e così avere buone conoscenze astronomiche e matematiche.
- Devono saper utilizzare gli strumenti per la navigazione, tra cui astronomici.
- Devono conoscere l'equazione del tempo. I vari sistemi si basano su differenze temporali, in particolare legati al Sole. Ma si scopre come in tale riferimento vi siano dei difetti che ci costringono a compensarli ogni giorno dell'anno.



- Oltre al tempo astronomico si deve poter tenere conto anche dell'ora civile che ogni luogo della terra adotta per convenzione diversamente da luogo a luogo.

Questo insieme di conoscenze occorrono per poter trovare quello che in gergo marinaro viene definito il "punto nave". Il progetto di questa dispensa è costruita per esporre la storia dell'evoluzione dei metodi per identificare la Longitudine, e affinché questo viaggio sia un po' più chiaro analizzerò questi concetti indispensabili che vi hanno girato intorno.

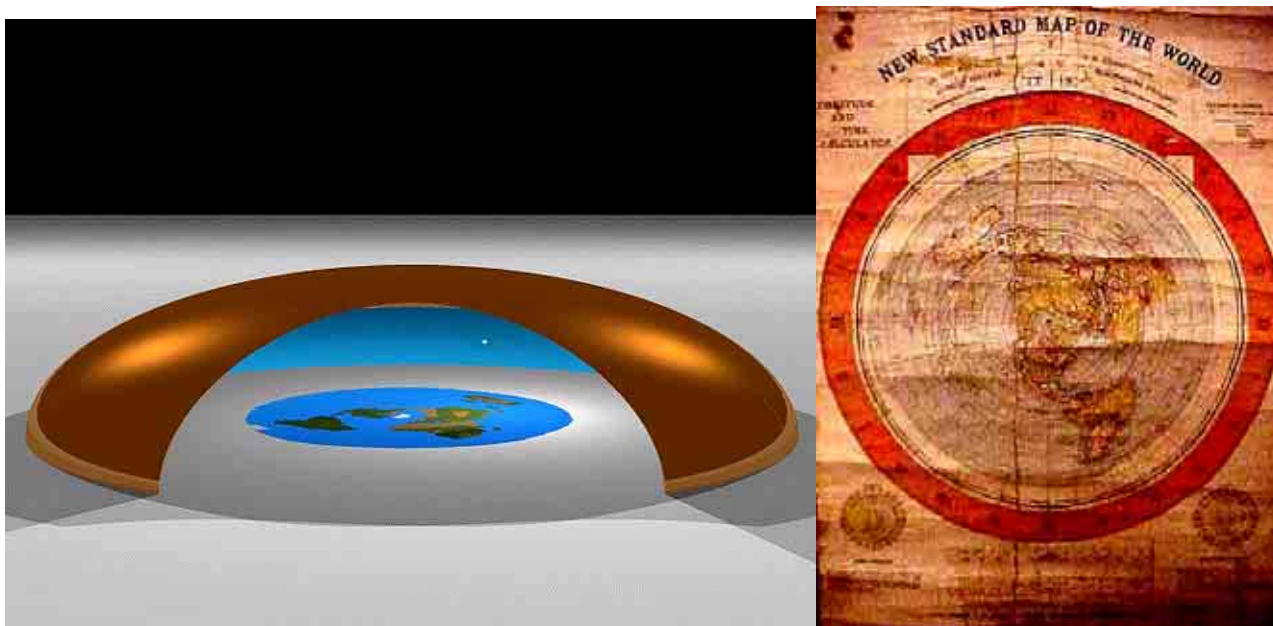
### **3.1) La Geografia**

Questo è un atto dovuto, non si può parlare di longitudine e di latitudine se non prima parliamo di geografia. Prima di poter andare avanti, occorre capire a cosa ci riferiamo quando parliamo di coordinate geografiche. Oggi, quasi tutti concordano nel ritenere che la terra abbia forma sferica, sembra una banalità, è un'informazione che entra nel bagaglio culturale di un bambino delle elementari, ma che nell'arco della storia ha dovuto superare non pochi ostacoli. Il primo modello geometrico della terra era quello piatto e solo dopo varie dimostrazioni, e l'eliminazione di diversi pregiudizi religiosi e filosofici, si è potuto affermare la sua rotondità. In particolare in Europa, questo argomento ha subito nel tempo alti e bassi, per cui in diversi periodi si considerava sferica e in altri no.

#### **3.1.1) La Terra Piatta**

Il modello della Terra piatta è molto antico e probabilmente è stata la prima teoria geometrica del nostro pianeta, che ha interessato le civiltà più antiche, dalle popolazioni mesoamericane a quelle asiatiche a quelle occidentali, comprese quelle che diventeranno la culla della cultura come i primi greci. Per rendere comprensibile come sia difficoltoso tale concetto apparentemente semplice, ancora oggi vi sono sette religiose che sostengono, contro tutte le prove possibili ed immaginabili, comprese le foto dei satelliti e le esperienze dirette degli astronauti, che la terra sia piatta. Queste moderne sette, nella loro forma pseudoscientifica trovano origine nel 1832 con Sir Birley Rowbotham, il quale scrisse "La Terra non è un globo". In Inghilterra fondò la "società Universale investigativa". Le prove addotte, a sostegno di tale ipotesi, non potevano altro che derivare dalla Bibbia. I vari sostenitori si sedevano sulle sponde di un lago e non osservando alcuna curvatura si convincevano di avere ragione. Ancora oggi, si trovano sostenitori organizzati in diverse società che si prodigano per la divulgazione delle loro teorie. Una è la "International Flat Earth Society" (Società internazionale della Terra Piatta), fondata nel 1888 da Alexander Dowie e ancora oggi molto attiva a Lancaster in California. La forma della Terra deve essere quella descritta "dalla parola di Dio", e dato che a quei tempi non esistevano prove dirette come foto del pianeta, nessuno era in grado di smentire né l'una né l'altra ipotesi; inoltre quell'epoca, in generale, era in preda ad un grande fanatismo religioso, trovando per tali strampalate idee un terreno molto fertile, con la conseguenza che ebbero un successo travolgente. Di seguito, nel 1929, fu fondata la "Flat Earth Research Society" (società di ricerca della terra piatta) da Wilbur Glen Voliva di Sion, Illinois. Il suo intento era di portare avanti le idee di Dowie utilizzando la scienza. A loro parere la Terra è un immenso disco con il Polo Nord al centro e alle estremità, il polo Sud costituirebbe una barriera ghiacciata che impedisce di andare oltre e eviterebbero ai meno informati di cadere al di sotto, vedi fig. 1. Le stelle sarebbero corpi molto più piccoli della Terra e le ruoterebbero intorno. Il Sole e la Luna, che brilla di luce propria, avrebbero un diametro di circa 50 Km e girano intorno al disco a

un'altezza fissa di 4800 Km. La breve distanza sarebbe giustificata perché Dio li avrebbe creati per illuminarci e, quindi, non avrebbe senso metterli troppo distanti.



**Figura 1** Modello di terra piatta degli zionisti, e pubblicazione di una rivoluzionaria mappa.

Il moto degli astri, e pertanto il sorgere e tramontare, non sono altro che illusioni ottiche. Queste teorie sono ancora oggi pubblicate periodicamente da giornali di queste organizzazioni, come la "Flat Earth News" e gestiscono pure un sito internet informativo. Secondo loro, i voli spaziali non sono mai esistiti, sarebbero il frutto solo di finzioni cinematografiche.

### 3.1.2) La Terra Sferica

Contrariamente a chi vuole ancora vedere la terra come piatta, oggi sappiamo benissimo, e più volte dimostrato, che la terra ha una forma sferica. Varie applicazioni satellitari come il GPS non possono che tenere conto di tale forma, altrimenti non funzionerebbero. Le varie missioni spaziali hanno portato una moltitudine di immagini che ci dimostrano la forma del nostro pianeta, vedere fig. 2. In occidente tale conoscenza è stata ostacolata più volte, ma le prime teorie di una terra sferica non sono recenti, risalgono all'antichità. Il primo occidentale a sostenere la teoria della terra sferica è stato Pitagora da Samo nel VI° secolo a.C. Pare che si accorse che l'orizzonte è curvo e che, quando una nave si allontana dalla riva, sparisce dietro l'orizzonte prima lo scafo, poi gli alberi e le vele. Affermò inoltre che la sfericità della terra può essere desunta che da vari luoghi si osserva una differente altezza delle stelle. Ma fu solo nel secolo successivo che Parmenide argomentò in questo senso. Questo modello fu pienamente accettato da tutta la comunità scientifica solo dopo che Aristotele, attorno al 350 a.C., espose diversi argomenti a riprova della sfericità e fu da allora che, in ambiente accademico, venne accettata generalmente tale concezione. Una delle principali contestazioni che andavano contro la sfericità era che il Sole avrebbe dovuto tramontare e sorgere



dietro un orizzonte curvo mentre in realtà ci appare piatto. Aristotele controbatté tale affermazione portando a giustificazione la grande distanza del sole e l'enorme dimensione della terra. Ma vi sarebbero prove ben più evidenti: durante le eclissi di Luna, l'ombra della Terra proiettata è sempre circolare; oppure quando ci spostiamo verso Nord o verso Sud, si osserva una porzione di volta celeste sempre diversa. Come quelle filosofiche, Aristotele ha il merito di aver catalizzato tutte le conoscenze di quei tempi, mettendo a punto un modello dell'Universo costituito prevalentemente dalla geometria delle sfere. Quando particelle pesanti sono mosse uniformemente da tutte le direzioni verso un centro, si forma un corpo la cui superficie è ovunque equidistante da questo centro. Tutti i corpi assumerebbero tale forma, perché la sfera rappresenterebbe la perfezione. Ma a dispetto di tale perfezione, oggi sappiamo che la terra non è propriamente sferica, ma è più simile ad una patata, vi sono zone più o meno curve rispetto al suo centro. La distribuzione della gravità, dipende dagli strati sottostanti e pertanto quando viaggiamo sulla sua superficie non è strano muoversi verso l'alto e verso il basso seguendo tali imperfezioni, senza che noi ce ne accorgiamo. Normalmente viene da pensare che le superfici dei mari si trovino tutte alla stessa distanza dal centro, ma in realtà grazie alla rotazione la terra è schiacciata ai Poli: il dislivello con l'equatore è di 21,5 Km. Quando ci muoviamo nella direzione dei Poli stiamo in realtà scendendo, e viceversa quando ci muoviamo verso l'equatore stiamo salendo. Difatti il raggio equatoriale è di 6.378,4 Km, mentre il raggio Polare è di 6.356,9 Km.



**Figura 2 Sfericità della Terra**

Quando effettuiamo questi spostamenti, benché il dislivello sia notevole, in realtà non ci sembra di salire o scendere, questo perché ci muoviamo su linee ideali equipotenziale gravitazionale. La linea equipotenziale della superficie della Terra ci è mostrata dall'acqua: se vi fosse una zona con un livello di stato di minima energia con un livello più o meno alto, l'acqua ci andrebbe. Pertanto l'acqua si distribuisce attorno a tale superficie ideale, e analizzando la superficie dei mari e degli oceani abbiamo a disposizione un metodo per studiare la distribuzione di massa del nostro pianeta. Possiamo pertanto definire il nostro pianeta più simile ad un ellissoide. Ma allora perché il nostro pianeta è definito sferico? Benché vi sia questa anomalia, il rapporto fra le due dimensioni,

chiamato "*schiacciamento*", è molto piccolo ( $(R - R')/R = 1/297$ ). Una tale differenza non è apprezzabile da una vista umana ma solo con strumentazioni opportune. Inoltre, a causa di anomalie interne, ovvero diverse concentrazioni di densità di massa, ci muoviamo sulla superficie terrestre come su una giostra delle montagne russe: su e giù a compensare la gravità terrestre. Non è difficile così trovare delle depressioni naturali sul mare che possano portare a considerare le acque allo stesso livello, quando in realtà presentano un dislivello di alcuni metri. Più gli studi si approfondiscono e più ci allontaniamo dal concetto della perfezione della sfera ellenica, per questo per rappresentare la forma della nostra terra è stata adottata una nuova definizione: il geoide.

## **3.2) La cartografia**

Prima di iniziare il nostro viaggio avventuroso attraverso la storia della longitudine, bisogna capire cosa sono i riferimenti geografici. Per poter rappresentare le diverse posizioni della Terra si suddivide il pianeta in vari modi per poter individuare i diversi punti di riferimento. Il problema principale che tutti i cartografi della storia hanno dovuto affrontare è che la nostra Terra è curva, e non è facile rappresentare una tale superficie su di una proiezione piana, senza inevitabilmente distorcerne la fedeltà delle distanze.

### **3.2.1) Sistemi di riferimento geografici**

#### **3.2.1.1) Meridiani e Paralleli**

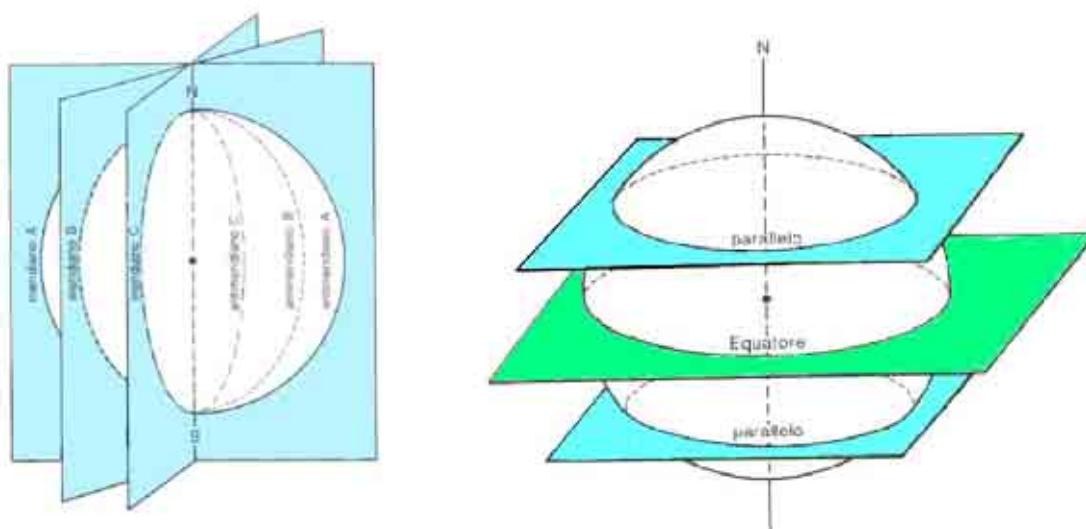
Quello che occorre è identificare dei riferimenti certi che permettano di poter individuare ogni punto della Terra. A tal fine la Superficie della Terra è stata suddivisa in una griglia di coordinate. Un metodo per costruire un riferimento valido è dato dalla rotazione del pianeta che ci fornisce la possibilità di poter disegnare idealmente delle linee sulla sua superficie, chiamati "Meridiani e "Paralleli", vedere fig. 3.



**Figura 3 Meridiani e Paralleli**

In particolare, i paralleli sono delle linee chiuse che girano intorno alla terra seguendo la direzione della sua rotazione. Sono il risultato dell'intersezione della terra con un piano parallelo alla rotazione del nostro pianeta, e quindi perpendicolare all'asse di rotazione (Nord-Sud), vedere fig. 4. In presenza di una sfera perfetta si formano dei cerchi, ma dato che abbiamo a che fare con un geoide, si formano delle ellissi ondulate. I meridiani sono linee ideali che dividono a metà il cielo a

mezzogiorno tra il Nord e il Sud; perpendicolari ai paralleli. In particolare tutti i Meridiani si intersecano ai Poli. I Meridiani sono il risultato dell'intersezione tra la nostra Terra e un piano passante per l'asse di rotazione, quindi in linea al piano di rotazione. Come per i Paralleli non abbiamo dei cerchi ma ellissi ondulate. Per semplificare il linguaggio successivamente non mi riferirò a linee ellittiche ondulate ma approssimerò il termine a dei cerchi. Osservando la fig. 4 si vede chiaramente quali sono le differenze tra i meridiani e i paralleli. Per definizione possiamo costruire infiniti cerchi paralleli, e come dice la parola stessa, sono tutti paralleli, ovvero non si intersecano mai. Ad eccezione del cerchio dell'equatore che è un circolo massimo, tutti i paralleli sono più piccoli dei cerchi ascrivibili nella sfera e pertanto sono chiamati anche "*cerchi minori*". Allo stesso modo possiamo costruire infiniti cerchi meridiani e, benché apparentemente siano tutte linee parallele, la curvatura della terra gioca un brutto scherzo: si incrociano tutti quanti ai Poli. Come per i paralleli ci aspettiamo che non si incontrino mai, ma questo è valido su una superficie piana, ma essendo la terra curva, gli spazi sono deformati e pertanto le distanze tra due meridiani possono cambiare, raggiungendo un massimo all'equatore e un minimo ai poli, dove si incrociano.



**Figura 4 I cerchi meridiani e i Cerchi Paralleli**

### **3.2.1.1) I cerchi di riferimento**

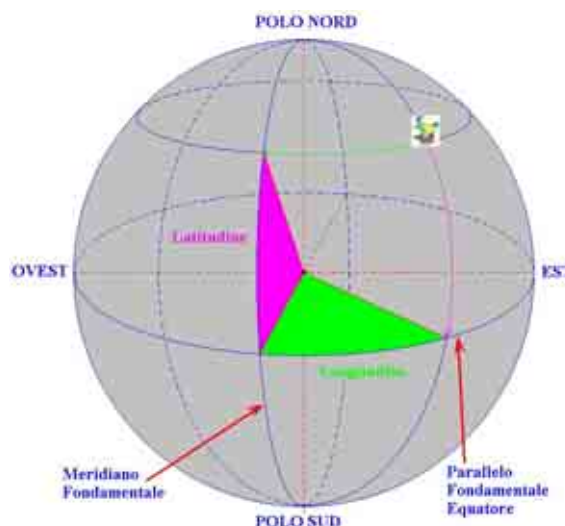
Tutte le linee meridiane con qualsiasi linea parallela sono perpendicolari; definendo un passo geometrico ben distinto si può costruire una griglia di riferimento. Avendo a che fare con dei cerchi è stato comodo suddividerli con un sistema numerico angolare, ovvero in  $360^\circ$ . Questa suddivisione ci obbliga a determinare un punto di zero e uno di fine, infatti dei cerchi di riferimento da cui partire per determinare il numero corrispondente al nostro meridiano o al nostro parallelo. Identificare questi punti di riferimento di partenza non è impresa da poco, si deve trovare dei punti inequivocabili, uno standard di facile individuazione che, non comporti problemi di interpretazione e sua misura. Il problema non è tanto per i cerchi paralleli, perché la rotazione della Terra fornisce un riferimento geometrico naturale, ovvero i cerchi paralleli non sono tutti uguali, vi sono cerchi più grandi e cerchi più piccoli. Il cerchio più grande è l'"*equatore*" e spostandoci verso i poli i cerchi

diventano sempre più piccoli sino a diventare un punto ai Poli. Il cerchio dell'equatore è il più grande e unico, e pertanto la natura ci aiuta a individuare un riferimento geometrico indiscutibile. Tutti gli altri cerchi sono più piccoli e non sono unici, si possono costruire ben due cerchi delle stesse dimensioni, uno nell'emisfero Nord e l'altro nell'emisfero Sud. L'"equatore" diventa pertanto il nostro zero il punto di riferimento di partenza. Dato che il sistema di misura adottato è angolare, spostandoci dall'equatore al Polo ci muoviamo di soli  $90^\circ$ , pertanto i paralleli possibili vanno da  $0$  a  $90^\circ$  ed essendo la nostra Terra suddivisa in due emisferi, parleremo di "*paralleli Nord*" se sono compresi tra l'equatore e il Polo Nord (emisfero Nord) e di "*paralleli Sud*" se sono compresi tra l'equatore e il Polo Sud (emisfero Sud). Trovare il punto di riferimento per i meridiani, invece è un'impresa non indifferente, non esiste un metodo naturale geometrico, per poter affermare l'importanza di un meridiano rispetto ad un altro: sono tutti uguali. Visto che da un punto di vista geometrico non si trova alcun riferimento, ci si è affidati alla diversità della superficie della Terra. Se la terra fosse stata coperta da un immenso oceano, non avremmo avuto la possibilità di individuare alcun meridiano particolare, ma grazie alle poche terre emerse, (circa il 29,2% della superficie pari a 148.822.000 Km<sup>2</sup>), si possono individuare dei punti di riferimento.

Dato che è indifferente scegliere qualsiasi meridiana che passa per un riferimento terrestre, determinare un cerchio che fosse adottato da tutti i popoli è diventato un problema politico e pertanto nell'arco della storia ciascun popolo a suo piacimento ha spostato il meridiano per questioni di prestigio nazionale. E' dovuto infine intervenire un convegno internazionale nel 1884 a Washington, la "*International Meridian Conference*", che per convenzione ha stabilito che il "*meridiano di riferimento*" passa per la località di "*Greenwich*". Da allora costantemente tutte le nazioni del mondo hanno aderito a questo standard ed oggi non è messo più in discussione da alcuno.

### 3.2.1.2) Latitudine e Longitudine

Avendo determinato i riferimenti dei cerchi meridiani e paralleli, la terra è suddivisa in una griglia di base da cui possiamo rilevare le coordinate di qualsiasi punto della Terra.



**Figura 5** Latitudine e Longitudine

Di uso comune per fornire le nostre coordinate del punto nave, si utilizzano i termini di "Longitudine" e "Latitudine" i quali equivalgono a fornire il meridiano e il parallelo in cui ci troviamo. Allora potevamo utilizzare semplicemente i termini di meridiano e parallelo. Ma per tali definizioni si individua un cerchio e non un punto. Con i termini di Latitudine e Longitudine invece sono determinate le distanze dal nostro punto nave ai cerchi di riferimento. Per "longitudine", vedere fig. 5, si intende la "distanza angolare" di un punto da un determinato meridiano di riferimento, per convenzione a quello di Greenwich. Per "latitudine" si intende la "distanza angolare" di un punto da un determinato parallelo di riferimento, ovvero l'equatore. Ad Esempio Firenze ha le seguenti coordinate:

Longitudine 11° 14' 59"64 E

Latitudine 43° 47' 14"64 N

La longitudine può variare da 0° a 180° e la terra si suddivide in 2 parti: le zone ad Est (E) di Greenwich, e le zone ad Ovest (W). Ad esempio Firenze si trova ad EST. Anche per la latitudine la terra è stata suddivisa in 2 emisferi, quello Nord (N) Boreale, e quello Sud (S) Australe. Ad esempio Firenze si trova a Nord. Talvolta la longitudine è espressa in termini orari con la seguente relazione: 1° corrispondono a 4 minuti e 15° ad 1 ora.

### 3.2.1.3) Le proiezioni

Se stiamo seguendo la nostra rotta, per poter individuare i vari riferimenti che indicano quanto abbiamo percorso o dobbiamo percorrere, una volta determinato il proprio punto nave si deve poterlo trasferire su di una carta geografica. E' indispensabile avere una rappresentazione della nostra Terra il più fedele possibile, affinché si possano determinare tutte le informazioni che si ritengono utili allo scopo di poter raggiungere tutte le mete ambite, il più velocemente possibile e in sicurezza. Purtroppo si scopre che, la nostra guida di carta, a causa della geometria curva della nostra Terra, "non è affidabile" ma "deve essere interpretata". Non è un problema di conoscenza, o almeno oggi non lo è più grazie alla tecnologia raggiunta: con i satelliti siamo in grado di definire con precisione centimetrica tutte le distanze fra i vari punti della Terra. E' un problema di fedeltà di rappresentazione su di una carta bi-dimensionale. Tutte le carte che vengono consultate sono dei fogli piani, ma la superficie della terra che devono rappresentare è curva. Siamo in presenza di un problema geometrico insoluto: come rappresentare fedelmente una superficie curva su di un piano bi-dimensionale? Dato che non esiste soluzione, ci si deve affidare a metodi che "approssimano" con meno distorsioni possibili la nostra superficie. Durante l'arco della storia geometrica-cartografica umana, non è mancata la fantasia: si sono proposti e prodotti una moltitudine di modi per farlo, e pertanto non esiste una sola rappresentazione del mondo, ma tantissime. Un marinaio che si affida ad una di tali carte deve poter conoscere il tipo di rappresentazione che sta visualizzando per poter capire a quale distorsione di lettura va incontro. Proviamo in ogni caso a fare un po' di chiarezza. In questa mia ricerca ho trovato una miriade di rappresentazioni della Terra, e raccontarle tutte ci sarebbe da perdere molto tempo. Per ciascuna si va incontro a difetti e pregi, ogni tipo di carta serve per evidenziare una determinata caratteristica. Fra i tanti metodi possibili si può cercare di semplificare tentando di classificarli in vari modi. Un metodo generale è a secondo della "fedeltà" di rappresentazione altri in base alle forme, distanze, angoli. Le proprietà che devono essere mantenute in una carta sono pertanto le seguenti:

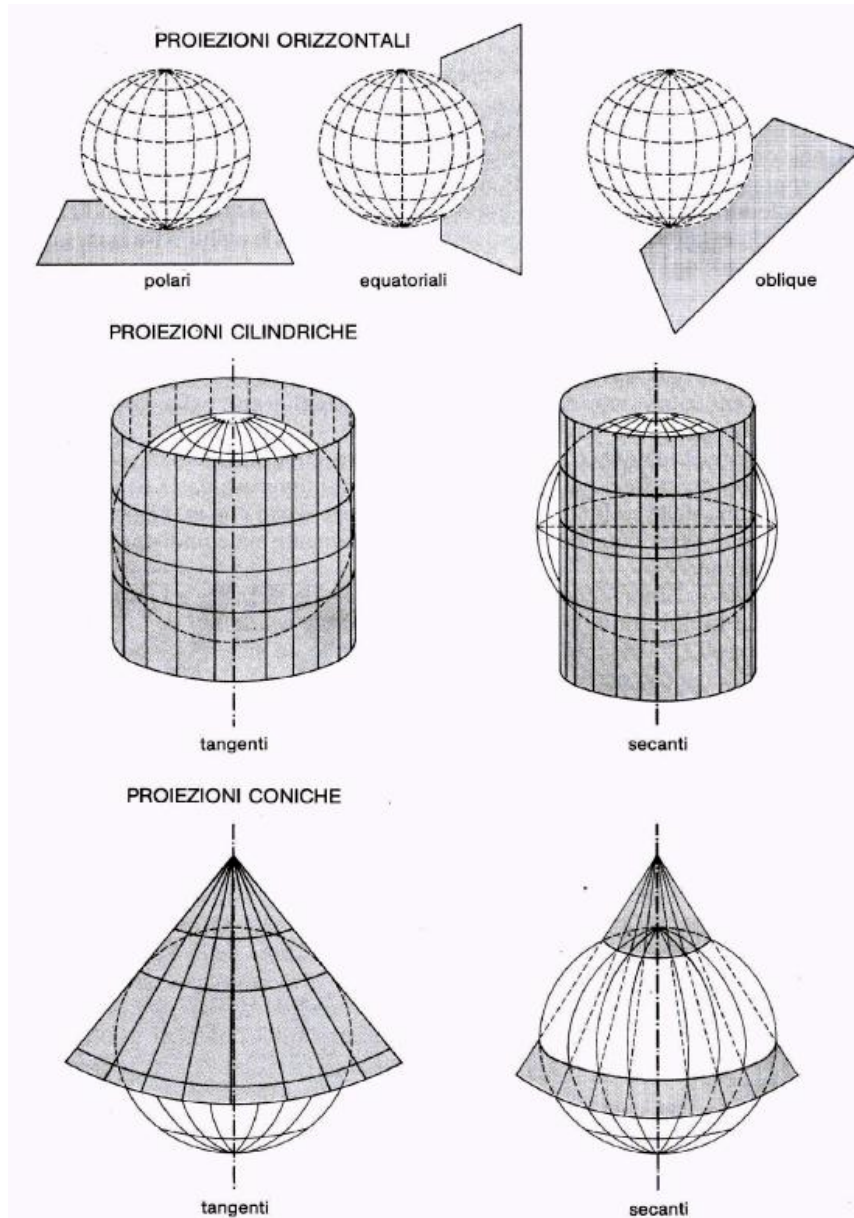
1. Fedeltà di area
2. Fedeltà di asse



## 3. Fedeltà di posizione

La "fedeltà di area" permette di confrontare direttamente tra loro varie parti di una carta.

- La "fedeltà di asse e posizione" garantiscono una corretta relazione di assi in direzione Nord-Sud e Est-Ovest per mezzo di una griglia rettangolare.



**Figura 6 Metodi proiettivi geometrici**

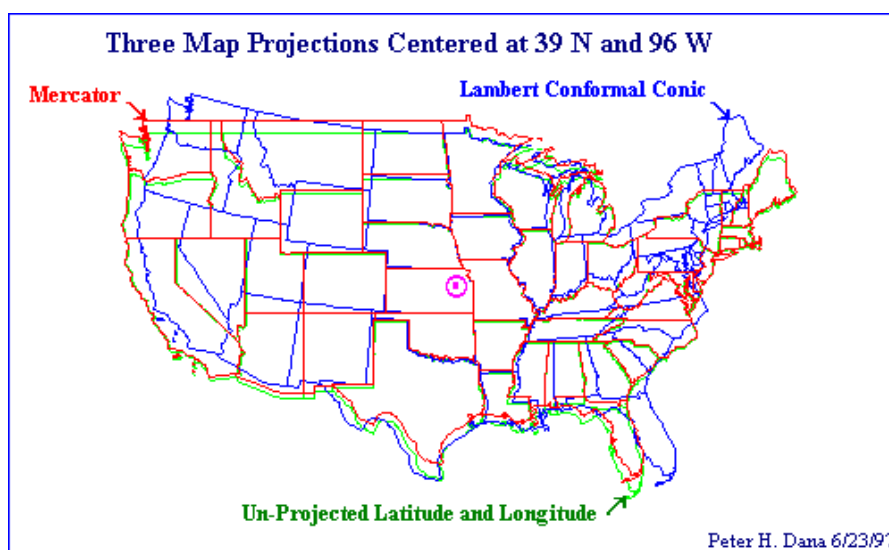
A seconda del tipo di proiezione possiamo classificare le carte in:

1. Proiezioni Equidistanti
2. Proiezioni Equivalenti
3. Proiezioni Isogone o Conformi
4. Proiezioni Modificate

- Una rappresentazione si intende "*equidistante*" quando la proiezione cerca di mantenere il più possibile costante il rapporto fra le lunghezze della carta e della sfera terrestre. Purtroppo questo non è possibile per carte che rappresentano zone molto vaste e pertanto si adottano metodi che salvaguardino almeno i rapporti in un'unica direzione, o per paralleli, o lungo i meridiani. E' evidente che se la carta tende ad avere una scala con rapporto molto piccolo, la curvatura della Terra diventa sempre meno percettibile, diminuendo la distorsione fino a renderla quasi nulla. In genere si ritrova la "*fedeltà di asse e di direzione*" con carte sotto una scala 1:25.000, rendendo semplificata la loro lettura e interpretazione. Nelle "*proiezioni equivalenti*", si conservano le aree: due superfici sulla carta stanno nello stesso rapporto che intercorre tra le corrispondenti superfici nella realtà.
- Nelle "*proiezioni isogone o conformi*" si conservano gli angoli tra due direzioni qualsiasi e quindi vengono mantenute le forme degli oggetti rappresentati.
- Quando si ha la necessità di rappresentare grandi aree, o addirittura l'intero globo, vengono utilizzate delle "*proiezioni modificate*", in modo da minimizzare le distorsioni e conservare il più possibile tutte le proprietà.

A secondo della dinamica di proiezione, vedere fig. 6, si può suddividere la costruzione di carte nei seguenti due metodi di base:

1. Proiezioni Prospettiche o Azimutali
2. Proiezioni per Sviluppo



**Figura 7** Esempio di sovrapposizione di diverse proiezioni

Nelle "*proiezioni prospettiche*" il piano di proiezione può essere "*tangente*" o "*secante*" ed in quest'ultimo caso passare, o no, per il centro della nostra Terra. Lungo la retta perpendicolare al piano di proiezione e passante per il centro della sfera, viene fissato il "*punto di vista*". Da esso si tracciano le congiungenti con i punti della Terra che si vogliono rappresentare; le loro intersezioni con il piano costituiscono la carta geografica. La posizione del punto di vista permette di costruire differenti proiezioni azimutali. Le "*proiezioni prospettiche tangenti*" alla sfera si distinguono in:

1. Proiezioni Polari
2. Equatoriali

### 3. Qualsiasi

A seconda della "*posizione del punto vista*", in ciascuno dei casi la proiezione potrà essere:

1. Centografica,
2. Ortografica,
3. Stereografica

Nelle "*proiezioni per sviluppo*" la Terra viene proiettata su di una superficie geometrica a scelta, in particolare di un cono o un cilindro, che possono essere tangenti o secanti, e viene scelto un opportuno punto di vista che, generalmente, coincide con il centro della sfera. Una volta che i vari punti della Terra sono stati proiettati, la superficie viene svolta e si ottiene la carta geografica piana con la "*distorsione prescelta*". Tanto per rendere evidente come sia complicato leggere una cartina, nella fig. 7 abbiamo una sovrapposizione di 3 tipi di carta per il territorio degli Stati Uniti. Appare evidente come diversi stati non coincidano affatto, e pertanto quando si devono estrapolare direzioni e distanze da queste carte, inevitabilmente, dobbiamo conoscerne ogni singolo difetto e relazioni, per arrivare ad un'informazione corretta e realistica che non ci porti fuori rotta o con tempi sbagliati. Un lusso che i marinai, più che altro nel passato, non si potevano permettere: essi sanno benissimo come un banale errore, in mare, a volte purtroppo può costare anche la vita.

#### 3.2.1.4) La proiezione di Mercatore

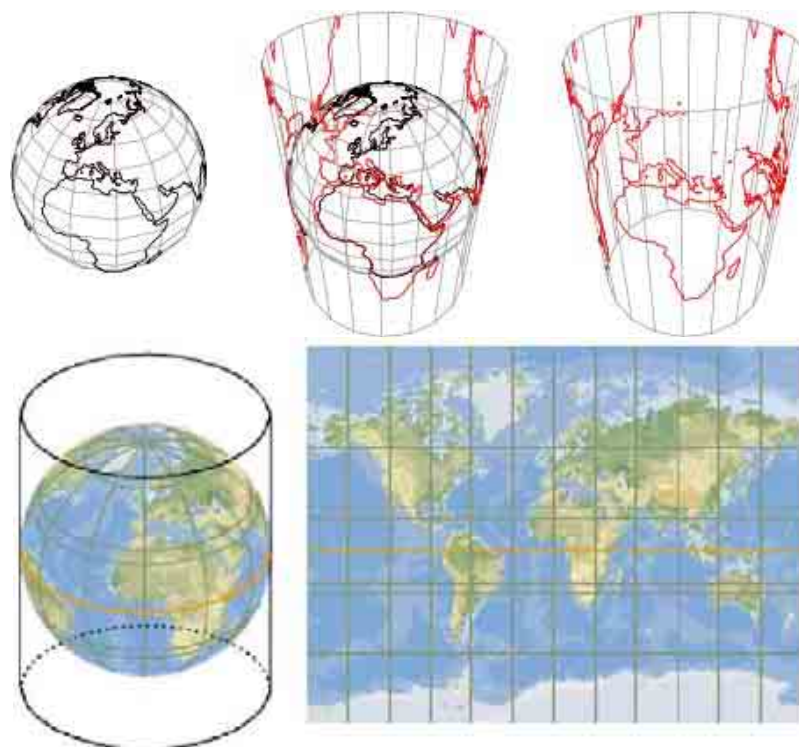
La proiezione più famosa è quella introdotta dal cartografo, considerato il più grande di tutti i tempi, il fiammingo **Gerhard Kremer** (1512-1594), detto **Gerardo Mercatore**. Si dedicò allo studio della matematica e dell'Astronomia e come maestro ebbe **Gemma Frisius** (1508-1555). Introdusse la proiezione che prende il suo Nome: "*la proiezione di Mercatore*". Fra tutte le proiezioni possibili, chiunque abbia frequentato una scuola di base non può non averla vista. Anche nel sistema operativo del computer, quando si va a impostare l'orario, compare una cartina che guarda caso è nella rappresentazione di Mercatore.



**Figura 8** "Orbis terrae descriptio", 1569, di Mercatore

Nel corso del Rinascimento, per una serie di fattori storici, riparte lo sviluppo della Cartografia. Dopo averli perduti per oltre un millennio, si riscoprono le opere elleniche ed in particolare quelle geografiche di Tolomeo. Inoltre, le grandi imprese di navigatori, allargando i confini del mondo,

fecero nascere l'esigenza di rappresentare tutte le Terra con mappamondi ed atlanti. Il problema della proiezione esplose e dato che la geometria si era sviluppata, si identificarono nuove proiezioni come quella dell'"*Atlante di Mercatore*". Il debutto della carta omonima avvenne nel 1569 con il planisfero a "*Ad usum Navigatium*" composto da 18 fogli separati, di cui nella fig. 8 abbiamo la rappresentazione del mondo intero "*Nova et aucta orbis terrae descriptio*". Come rappresentazione del mondo, la proiezione di Mercatore presentava degli inevitabili svantaggi, ma per uso in mare diventò la proiezione migliore e venne adottata da tutti i marinai. Altri cartografi lo imitarono, ma quelle di Mercatore sono ritenute essere tra le più belle mai prodotte per la precisione del disegno e la bellezza della grafica. Il suo ultimo progetto fu l'"*Atlas*", una raccolta di tutte le mappe con l'intento di raccogliere tutto lo scibile geografico dell'epoca. Purtroppo, morendo a **Duisburg** nel 1594 all'età di 82 anni, non vide mai l'opera pubblicata lasciandola incompleta. Ma dato che produrre carte geografiche era un'attività molto redditizia, benché costose, le edizioni andavano esaurite molto rapidamente e i cartografi, che erano anche editori di se stessi, potevano realizzare guadagni sostanziosi. Così, i figli **Arnold** e **Rumold**, nel 1595 fecero uscire postuma l'opera dell'"*Atlas sive cosmographicae meditationes de fabrica mundi et fabricati figura*". Con quest'opera nasce la parola "*atlante*", la quale serviva per indicare una raccolta di carte geografiche. "*La proiezione di Mercatore*" è una proiezione cilindrica conforme o isogona, le forme e direzioni sono corrette, ma non le aree.



**Figura 9 Sviluppo e proiezione della cartina di mercatore**

La proiezione dei paralleli e meridiani si incontrano formando angoli retti, come nella realtà, ma questo comporta inevitabilmente la distorsione delle dimensioni dei paralleli. Tutti i paralleli sono mostrati della stessa lunghezza, mentre in realtà il parallelo più lungo è quello dell'equatore, con una lunghezza di 40.076,6 Km, mentre quelli più corti si trovano ai poli con una lunghezza minima



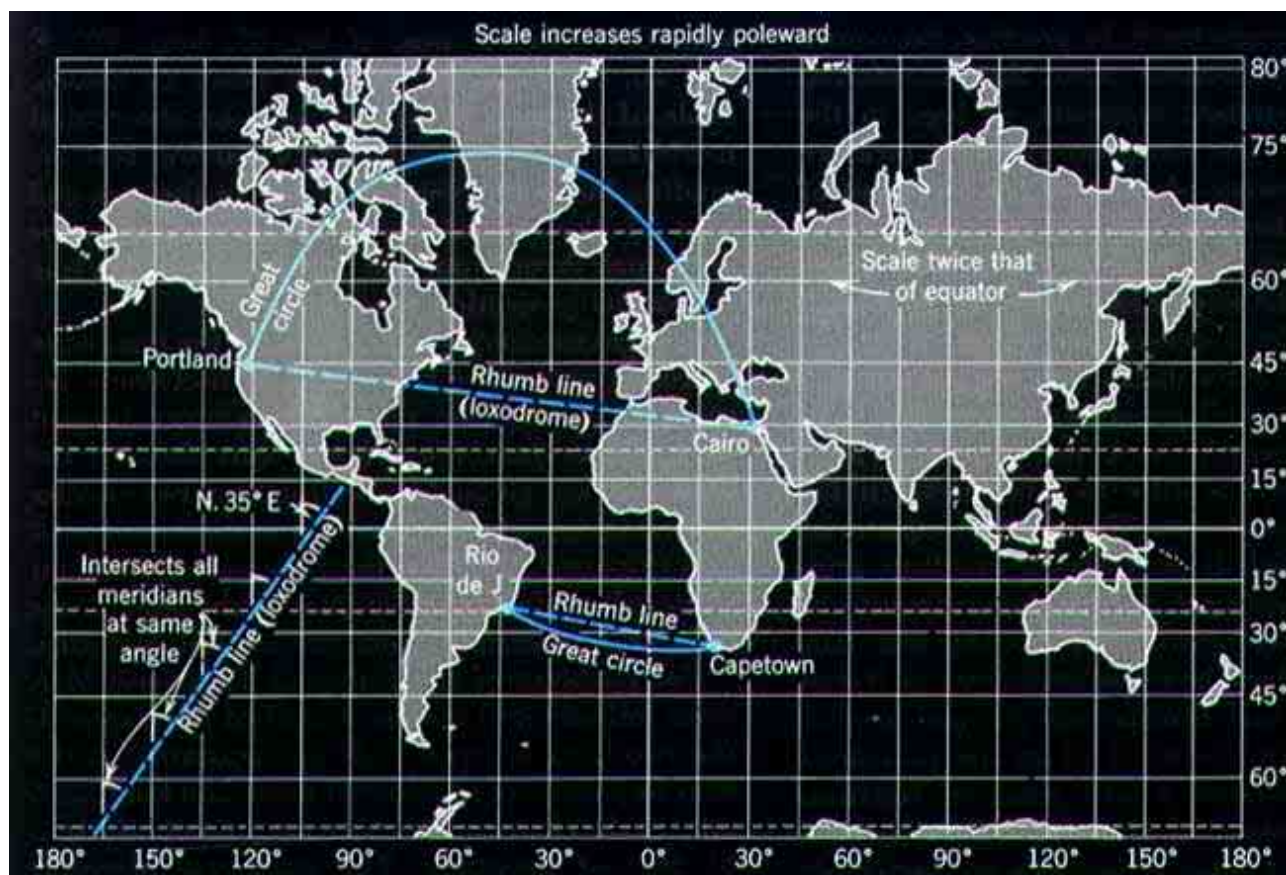
di zero Km. E' evidente come nelle zone polari le aree siano enormemente deformate e non presentino alcuna affidabilità con i rapporti dimensionali reali. "*La proiezione di Mercatore*" nasce semplicemente dalla proiezione e sviluppo delle terre emerse su di un cilindro che avvolge la terra, tangente all'equatore, vedere fig. 9, sul quale si proiettano tutte le Terre partendo da un punto di vista interno al pianeta. Dall'asse di rotazione si proiettano orizzontalmente, sulla superficie del cilindro, i vari riferimenti della superficie della Terra. Una volta riportati i dettagli della terra, sulla superficie del cilindro, si può srotolare a scelta, partendo da qualsiasi punto; in genere, dato che lungo il meridiano sono presenti ben poche terre, il cilindro si taglia nella zona dell'oceano pacifico e abbiamo la nostra rappresentazione classica. Dato che il caso vuole che tale carta è eurocentrica, per non essere accusati di campanilismo, si possono avere anche altre rappresentazioni tagliando il cilindro in altri meridiani, centrando l'America, l'Asia o centrando nazioni o luoghi della terra o oceani a nostro piacimento.

### 3.2.1.5) La Ortodromica e la Lossodromica

Con la carta di **Mercatore** viene risolto uno dei principali problemi dei marinai. **Gerhard Kremer** si rendeva conto che i navigatori pensavano che si potesse viaggiare in linea retta seguendo la direzione indicata sulla bussola, ma in realtà questa supposizione è errata. Una nave che segue tale rotta segue invece una curva denominata "*lossodromica*" (anche detta elica sferica). Le prime indicazioni di tali curve si evidenziano nel 1541 con **Mercatore**; lo studio di queste curve costituì una fase importante dello sviluppo dell'idea della proiezione omonima. In questa proiezione anche le *lossodromiche* diventano linee rette e per piccole aree si mantengono le lunghezze. "*La proiezione di Mercatore*" è quindi di grande importanza proprio per la proprietà che le linee della *longitudine*, le linee della *latitudine* e le *lossodromiche* si sviluppano tutte come linee rette sulla mappa. Proprio per questa caratteristica, benché varie terre emerse siano deformate, come la Groenlandia sembra essere paragonabile all'Africa, per l'uso in mare era indubbiamente la proiezione migliore e venne adottata da tutti i marinai. Dato che la cartografia si è sviluppata principalmente per determinare dei punti di riferimento per la navigazione, non deve sorprendere il suo successo. Normalmente per raggiungere due luoghi si tende a pensare che il percorso più breve è quello rettilineo. Se si prende un foglio di carta e si cerca di unire due punti è evidente che il minimo percorso è rappresentato da una linea dritta e non certo da una curva. Ma con questo ragionamento, ci scordiamo che la nostra carta è truccata, ovvero viviamo su di un pianeta; complice è il suo enorme raggio medio (6.371,3 Km), il quale fa apparire la Terra come piatta mentre in realtà ci muoviamo su di una superficie curva. Inevitabilmente queste deformazioni comportano che le nostre linee dritte, e quindi le rotte dei navigatori, non sono poi così rette, ma sono curve. Se pensiamo che il percorso più breve sia rappresentato da una linea dritta di una carta incorriamo in un errore inevitabile. Preso l'esempio di fig. 10, seguendo lo stesso ragionamento, siamo motivati a pensare che il percorso più breve tra Portland e il Cairo sia la linea retta, la *lossodromica*, ma in realtà il percorso più breve è rappresentato da un'altra linea, curva, ovvero la *Ortodromica*. Quindi la linea *ortodromica*, detta "*arco di grande circolo*" (Great Circle), è la più breve congiungente tra due punti sulla Terra. La linea *lossodromica* detta "*linea di rotta*" (Rhumb line) è la linea che unisce due punti sulla carta, formando lo stesso angolo con tutti i meridiani e paralleli intersecati. Ma com'è possibile che una linea curva sia più breve della linea retta? Se si fa caso alle linee ortodromiche della fig. 10, si può osservare che le ortodromiche sono sempre piegate nella direzione dei poli. Guarda caso la rappresentazione della carta di **Mercatore** ha deformato le distanze in queste zone, ovvero le ha amplificate a dismisura. Nella realtà sulla carta dobbiamo fare



uno sforzo di immaginazione e vedere le terre delle zone polari come se fossero tutte più vicine, tutte compresse. In tal modo diventa evidente come le distanze si facciano più brevi. Valga il seguente esempio: se viaggiamo lungo l'equatore per percorrere tutti i gradi di longitudine dobbiamo percorrere 40.076,6 Km, al polo basta girare su se stesso, e ci vuole un attimo per farlo. Ma non possiamo però, da qualsiasi zona della terra passare dal Polo, perché altrimenti la distanza percorsa risulta maggiore.

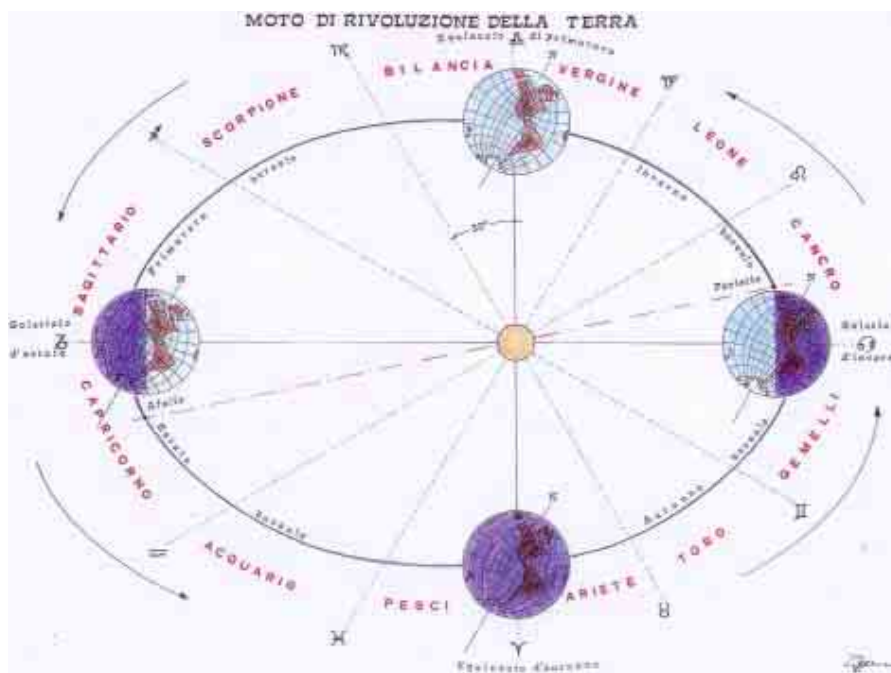


**Figura 10** Lossodromica (Rhumb line) e Ortodromica (Great Circle) sulla carta di Mercatore.

Se facciamo il giro della Terra, dall'equatore passando dal Polo, dato che la terra è un'elissoide, si risparmiamo diversi km (il raggio polare della terra è inferiore di 25 Km). Ma benché inferiore, esistono dei percorsi curvi che attraversano latitudini più basse che fanno comunque risparmiare decisamente molta più strada. Se sulla Terra è più conveniente viaggiare su rotte curve *ortodromiche* e non su rotte dritte *lossodromiche*, come mai per andare da una città all'altra, vicine, seguiamo strade dritte? Dipende dalla curvatura, per rotte molto distanti viene interessato uno spostamento angolare ampio, ma per distanze sempre più brevi e quindi per curvature e spostamenti angolari sempre più piccoli le *Ortodromiche* tendono ad avvicinarsi e poi coincidere con le *lossodromiche*. Ecco spiegato perché all'interno di una stanza per andare da un punto all'altro si preferisce andarci con un percorso diretto invece che circumnavigando il pavimento.

### 3.3) L'equazione del tempo

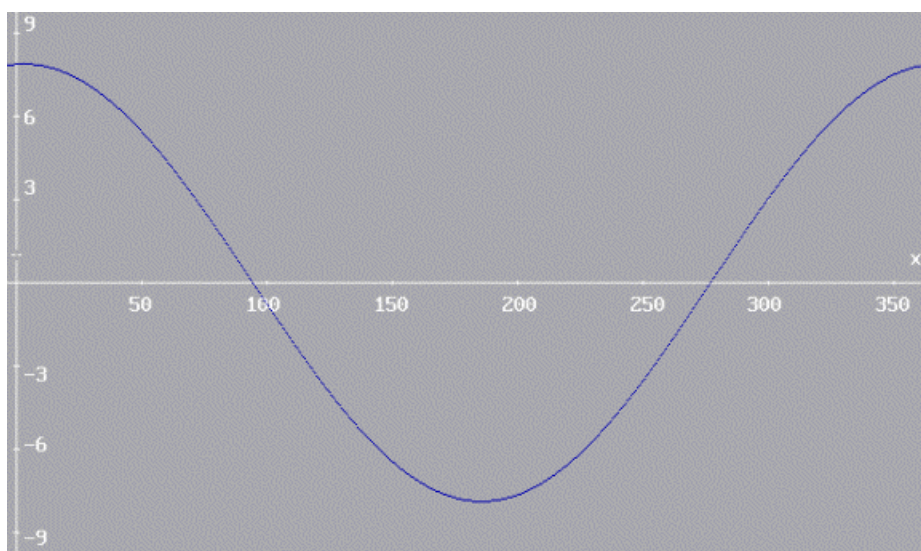
Altra conoscenza che un marinaio deve possedere è come "*calcolare il tempo*" in mare. Fin dall'antichità la base dei tempi è stata dettata dal *Sole*. Il Sole costantemente appare ruotare attorno alla terra, e l'uomo l'ha utilizzato come metodo di riferimento del calendario per lo scorrere dei giorni e degli anni. Come non affidarci ad esso per determinare uno spostamento anche orario? A molti sembrerà strano, ma il moto del *Sole* non è costante, la durata del giorno non è la stessa ma varia durante il corso dell'anno. Una conoscenza recente, dato che è stata evidenziata solo nel 1657, dopo che Galileo ha scoperto l'*isocronismo del pendolo*. Non è una variazione apprezzabile dall'uomo comune, la sua rotazione apparente varia di pochi secondi, ma è sufficiente per poter accumulare ritardi o anticipi che diventano decine di minuti in alcuni giorni dell'anno. Tali errori del tempo per un marinaio non sono però trascurabili: per rendere l'idea di quanto precisa debba essere presa la misura temporale per identificare la longitudine, sbagliare di 1 minuto corrisponde a un punto sulla terra con un errore di circa 27,8 Km all'equatore. Ma perché il Sole si muove con velocità che non è costante? Dato che il moto è apparente, non è certo colpa del sole, ma del moto di rivoluzione della terra. La Terra ruotando attorno al sole percorre un'orbita che non è perfettamente circolare, ma ellittica (con eccentricità pari a 0,016708), vedere fig. 11. Grazie a **Keplero** fu inferto un duro colpo alla precisione degli Dei, l'Universo non era poi così perfetto, le forme dei corpi celesti come le orbite non erano più la perfezione geometrica massima della natura.



**Figura 11** Moto di rivoluzione della terra

Dalla 2° legge di **Keplero** si evince che nell'orbita ellittica all'*Afelio* (intorno al 3 luglio), ovvero alla massima distanza dal Sole, la velocità della Terra sia la più bassa (29,2911 Km/Sec), mentre al *perielio* (intorno al 3 gennaio), alla minima distanza, la velocità della Terra sia più elevata (30,2865 Km/Sec). Questo comporta che la velocità angolare della Terra non è costante e pertanto la osserviamo tramutata in rotazione apparente del Sole differenziata sulla volta celeste. La variazione

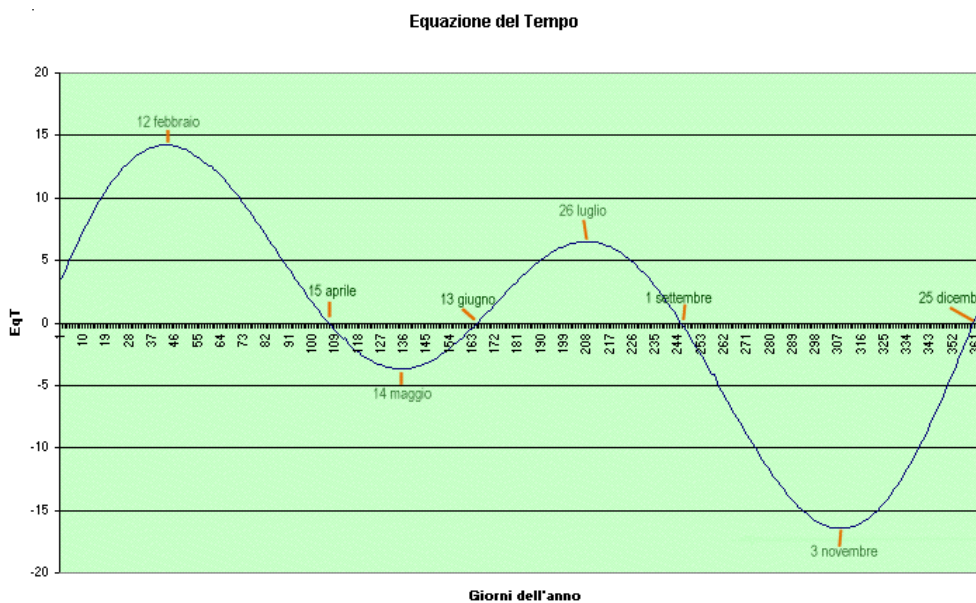
del tempo è assimilabile ad una funzione sinusoidale con un tempo massimo di 7,886 secondi, e con un'escursione massima (*picco-picco*) di 15,772 secondi, vedere fig. 12. Dato che l'orbita è ellittica, la curva rappresentata è solo un'approssimazione e i dati forniti possono essere soggetti a variazione, ma per la nostra applicazione è trascurabile. Il dramma nasce nel momento in cui l'uomo ha abbandonato gli Dei, "*la meridiana*", per affidarsi ad un oggetto meccanico costruito dai mortali, dall'uomo: l' "*orologio*". Il ritmo dello scorrere del tempo di un orologio è costante ed uniforme per tutta la durata del percorso di rivoluzione della terra e non seguirà le sue anomalie, ma le potrà così misurare. C'è stato un periodo storico per cui l'uomo ha dovuto abbandonare il tempo del Sole ed adottare quello dell'orologio più preciso, ma comunque affinché rimanesse il sole a decidere lo scorrere dei giorni, si è dovuto tarare la meccanica per seguire mediamente il Sole durante il corso di tutto un anno intero. Adottando un "*sole medio*" abbiamo salvaguardato il ruolo principale del nostro astro e progressivamente abbandonato l'astronomia, "*la meridiana*", per la meccanica, l' "*orologio*".



**Figura 12** Variazione media della durata del giorno dovuto all'orbita ellittica della Terra

L'uomo si è così separato dagli Dei, e li ha persino superati in precisione. L'errore della divinità non è poi così piccolo, dato che gli scarti accumulandosi giorno dopo giorno, secondi dopo secondi, comporta un "*Sole vero*" in ritardo o in anticipo rispetto al "*Sole medio*" che può perfino superare i 15 minuti: un errore di valutazione che si riflette sulla longitudine che può arrivare oltre i 400 Km all'equatore. Conoscendo in anticipo il corso di tali ritardi, i marinai si affidano a tabelle che compensano tale errore, costruendo quella che viene chiamata equazione del tempo rappresentata in fig. 13. Come si potrà vedere dal grafico, la differenza tra due mezzogiorni, del sole vero e del sole medio è compresa tra circa 16 minuti in più e 14 minuti in meno, valori estremi che sono raggiunti solo due volte l'anno. Di solito la differenza è compresa entro i 5 minuti per circa 200 giorni e in 4 giorni i due mezzogiorni coincidono con il sole vero. Ovviamente tutto questo non sarebbe stato necessario se gli antichi avessero avuto ragione, cioè se la natura avesse davvero selezionato solo moti circolari. In un'orbita perfettamente circolare la velocità angolare non avrebbe mai variato, e l'equazione del tempo non l'avremmo conosciuta. Se non fosse stato inventato l'orologio non ce ne saremmo mai accorti. Tali concetti erano difficili da spiegare tanto che gli orologiai di Parigi per

convincere i clienti che era il Sole in errore avevano adottato il motto "*Solis mendaces arguit horas*", per la prima volta nella storia le divinità persero posizione, e le *meridiane*, oggetto quasi di culto, di comunicazione con il dio sole, vennero progressivamente abbandonate. La prima città a utilizzare il tempo di sole medio fu **Ginevra nel 1780**, e fu simbolicamente la campana del duomo a segnare il confine tra il tempo degli dei e il tempo degli uomini. Di seguito ad una, ad una, a macchia di leopardo su tutto il territorio europeo venne progressivamente abbandonato il "*Sole vero*" per il "*Sole medio*", Londra nel 1792, Berlino nel 1810, Parigi nel 1816.



**Figura 13** Equazione del Tempo. Differenza tra Sole Medio e Sole Vero

In *Italia* fu introdotto in ritardo rispetto alle altre nazioni, per prima nella città di Torino nel 1852, seguita da Roma nel 1855 senza nessun decreto governativo, Bologna nel gennaio del 1858, Milano il 14 Febbraio 1860. Tale passaggio aveva prodotto anche delle vittime politiche: nell'adozione del nuovo standard, la Chiesa aveva perso il primato del tempo, il sincronismo delle campane non derivava più dalle meridiane poste sui muri perimetrali ecclesiastici, ma veniva dettato dai conducenti delle vetture postali, che ogni giorno, al mattino, regolavano i propri orologi alla stazione di partenza, i quali lo comunicavano alle chiese e al postino che lo comunicavano alla gente comune. La sua introduzione però non fu priva di problemi, a Parigi si dovette chiedere al "*Bureau des Longitudes*" di diffondere un rapporto alla popolazione che lo scorrere del tempo meccanico, imposto dall'uomo e non da un Dio, non generava un sopruso nel calcolo delle ore di lavoro. Il sole vero divide ogni giorno dell'anno in due parti uguali, il sole medio invece provoca che le ore di luce variano tra il sorgere e il mezzogiorno e tra il mezzogiorno e il tramonto.

### 3.3.1.1) I fusi orari

Una ulteriore complicazione nella vita dei marinai e nell'elaborazione dei calcoli, è rappresentata dai fusi orari. Prima dell'avvento dell'orologio, lo scandire del tempo era dettato dal quadrante o dalla meridiana che, come punto di riferimento e di taratura, utilizzavano il passaggio del Sole a



mezzogiorno al *meridiano*. La culminazione del Sole nel cielo, dato che la Terra è sferica, non avviene nello stesso istante per ogni *meridiano*. Se ci spostiamo lungo il parallelo, ad esempio da Firenze verso Pisa, il mezzogiorno non casca alla stessa ora ma con ritardo nella città marinara. Alla Latitudine di Firenze uno spostamento di circa 300 m corrisponde ad una differenza temporale di 1 secondo. Ogni 19 Km circa, si raggiunge il minuto di differenza. Fintanto che le attività umane rimangono confinate in un'area ristretta non vi sono problemi. Ma quando l'uomo ha cominciato a muoversi in fretta ed ha incrementato il raggio d'azione delle attività quotidiane il problema è scoppiato con tutte le sue conseguenze. Nel 1800 con l'avvento della ferrovia e del telegrafo si collegavano più luoghi in poco tempo. Viaggi che prima richiedevano giorni, adesso si svolgevano in poche ore e l'invio di un telegramma era istantaneo. Le varie stazioni della ferrovia primordiale adottavano l'ora locale, e vi erano tanti riferimenti orari quante erano le stazioni attraversate. Quando in uno stesso troncone ferroviario si passava da una stazione all'altra si doveva rimettere continuamente l'orologio. Nel 1828, l'astronomo **John Herschel**, per risolvere il problema della babilonia dell'ora, propose nell'ambito di un territorio o al limite in una nazione di unificare il tempo, di utilizzarne, cioè, uno identico per tutti. Ed ecco che la necessità spinse tutti i governi ad adottare un unico orario ferroviario legandolo, chi patriotticamente a quello della capitale, chi a una città qualsiasi di riferimento. La prima nazione a partire in questa gara di standardizzazione fu la Gran Bretagna nel 1848, che utilizzò l' "*ora di Greenwich*", e l'ora di Dublino per l'Irlanda. Nel 1866 in Italia si era arrivati a utilizzare non più di 6 ore ferroviarie legate alle città di riferimento: Torino, Verona, Firenze, Roma, Napoli, Palermo. Per motivi patriottici il 12 dicembre del 1866, anche se non faceva parte del Regno d'Italia, venne adottato il tempo medio di Roma. Ma ci volle del tempo perché si arrivasse alla attuazione di un riferimento nazionale; Milano si adeguò subito, e via via lo seguirono altre città sino a quella di Cagliari nel 1886. La Svezia, scelse un'ora meno patriottica ma rivoluzionaria per i tempi, non adottando l'ora di Stoccolma ma quella di Greenwich. La Francia invece dovette aspettare il 14 marzo del 1891 per vedere uniformato il tempo con quello del meridiano di Parigi. Ma quello che era accaduto a livello locale e poi nazionale si spostò a livello internazionale. Nel passaggio ferroviario tra una nazione e l'altra si incorreva in differenze non più tanto irrilevanti. Fintanto che si applicava un'ora solare vera, le differenze tra due zone confinanti erano minime, ma spostando il riferimento, generalmente nella capitali, si arrivò ad avere differenze di 47 minuti tra la ferrovia francese e quella italiana, 20 minuti con quella svizzera, 10 con l'austriaca. Il problema si faceva più complicato per viaggi che interessavano molte nazioni, ad esempio tra Roma e Pietroburgo si doveva cambiare l'ora per 7 volte, tra Parigi e Costantinopoli ben 12 volte. In Prussia vigeva ancora un sistema complesso: mentre la popolazione utilizzava ancora un tempo locale, il personale di servizio delle ferrovie adottava un'ora propria e pertanto era costretta a cambiare "linguaggio orario" a secondo se rispondeva al pubblico o al servizio interno. Al fine di risolvere il problema **Theodor Von Opplzer**, direttore dell'Osservatorio Astronomico di Vienna, propose di adottare un orario unico per tutto il pianeta, sincronizzato su quello di Greenwich o un altro di riferimento. Ma la proposta non era accettabile per problemi pratici, e per problemi politici si sarebbero scavalcate le ideologie nazionaliste. In questo contesto nasce la proposta di **Quirico Filopanti**, pseudonimo di **Giuseppe Barilli**, professore e politico di Bologna. Nel 1859 durante il suo esilio in Inghilterra, scrisse il libro "*Miranda*", ove propose di suddividere la terra in 24 zone, chiamate "*giorni longitudinali*" al pari della suddivisione oraria. Patriotticamente propose di inserire il meridiano di Roma come il centro del primo fuso orario. Ogni zona delimitata da due meridiani separati di 15°, all'interno del quale tutto il territorio segue l'ora corrisponde al meridiano medio distanziato di 7,5° fra i due estremi. Inoltre come **Opplzer** propose un tempo universale da utilizzare per l'Astronomia e il telegrafo. Aveva proposto anche un curioso orologio a 3 lancette, 2 dell'ora, una per il tempo universale e uno per quello del fuso, e la



terza per la lancetta dei minuti. La dimensione di un fuso di 1 h è di 15°, e corrisponde ad una estensione di territorio pari a circa 1685 Km all'equatore e di circa 1190 Km alla latitudine di Firenze. Con tale suddivisione all'interno del fuso la differenza tra l'ora Locale e l'ora del fuso non supera i 30 minuti, a cui però devono essere aggiunti o tolti i minuti differenza dipendenti dal giorno dell'anno dovuti all'adozione dello standard del sole medio contro il sole vero. Pertanto la differenza di picco, viene ad essere raggiunta nella prima decade di novembre con un valore superiore a 45 minuti. Inoltre da considerare altri minuti equivalenti al territorio di una nazione che si trovi oltre i confini del fuso. Ma i meriti internazionali dell'adozione del sistema non sono attribuiti all'italiano, il suo lavoro rimase praticamente sconosciuto e altri ufficialmente proposero e si prodigarono politicamente per poter vedere attuato il sistema. In America si arrivò agli stessi concetti ben più tardi. **Charles F. Dowd**, rettore di un collegio femminile a Saratoga Springs, New York, fece la stessa proposta nel 1870 contemporaneamente al canadese **Sir Sandford Fleming**, ingegnere capo delle ferrovie, i quali proponevano la creazione di 24 Standard Time. Lo Standard Time, per uso ferroviario, entrò in vigore a mezzogiorno del 18 novembre 1883 e rapidamente venne esteso a tutti gli usi civili. Vi furono anche alcune opposizioni, a New York ad esempio nello stesso giorno dell'applicazione vennero suonati due mezzogiorni, uno con il tempo locale e l'altro con lo Standard Time.



**Figura 14** Sistema dei fusi orari al 1995.

Il primo evento di *globalizzazione* del nostro pianeta, avvenne quando a livello mondiale fu indetta una conferenza internazionale nel 1884 a Washington, la "*International Meridian Conference*", i rappresentanti di 25 paesi sancirono definitivamente il sistema orario oggi utilizzato: sia il meridiano fondamentale di Greenwich che la divisione della terra in 24 fusi orari di 1 ora ciascuno. L'Europa non si adeguò subito al nuovo standard, cominciò la Germania nel 1891 e l'Italia approvò l'ennesimo cambiamento il 10 Agosto 1893 con regio decreto, spostando il riferimento dal Monte Mario di Roma al meridiano centrale del fuso che passa dall'Etna e nella notte del 31 di ottobre tutti gli orologi tricolori si spostarono avanti di 10 minuti. Nel 1897 tutta l'Europa adottò lo standard dei fusi orari, fuorché l'orgoglio Francese che continuò sino al 1911. Per capire quanto fosse evidente il

problema politico nazionalistico, i francesi abdicarono per l'orario del fuso dichiarando per legge che, si trattava del tempo di Parigi ritardato di 9 minuti e 21 secondi. Oggi le varie nazioni non si pongono più tanto il problema della diversità dell'ora civile con l'ora solare vera, grazie anche all'aeroplano che ha ridotto le distanze internazionali come se fossero delle distanze locali a tal punto che in Europa e in Africa si segue l'orario del meridiano centrale, del fuso dell'Europa centrale. Tutti sincronizzati sul meridiano a  $15^\circ$  Est da Greenwich, che viene indicata come: GMT + 1 (l'orario del Greenwich Medium Time + 1 h). Uno standard seguito per un'estensione superiore a 4 fusi, vedere fig. 14. E tutto questo è avvenuto a causa dell'introduzione dell'orologio, quell'oggetto che nessuno dimenticherebbe mai, che ormai è entrato a far parte del DNA delle nostre abitudini e giammai metteremmo in dubbio il sistema oggi adottato, ma che obbliga un navigatore a tenerne conto eseguendo qualche calcolo in più per non commettere un errore di longitudine. Per trasformare i fusi in tempi e i tempi in longitudine e viceversa, si deve tenere conto che i fusi nominalmente sono centrati ad ogni  $15^\circ$  di longitudine a partire da Greenwich, il fuso zero sarebbe compreso tra il  $7,5^\circ$  di longitudine Est al  $7,5^\circ$  di longitudine Ovest. I successivi sono equispaziati di  $15^\circ$ , pertanto progredendo verso Est il secondo fuso è compreso tra  $7,5^\circ$  e  $22,5^\circ$  e così via, incrementando di  $15^\circ$  tali estremi. Per ricavare il tempo universale (TU) di Greenwich, tempo di riferimento per la maggior parte delle effemeridi nautiche, occorre togliere le ore di distanza del fuso dall'ora locale verso Est e di aggiungerle verso Ovest. Vi sono alcune convenzioni che denominano tramite una lettera il fuso di appartenenza con le seguenti relazioni:

Longitudine ( $^\circ$ )	Correzione per TU (h)	Lettera	Longitudine ( $^\circ$ )	Correzione per TU (h)	Lettera
0	0	Z	0	0	Z
15 Est	-1	A	15 Ovest	+1	N
30 Est	-2	B	30 Ovest	+2	O
45 Est	-3	C	45 Ovest	+3	P
60 Est	-4	D	60 Ovest	+4	Q
75 Est	-5	E	75 Ovest	+5	R
90 Est	-6	F	90 Ovest	+6	S
105 Est	-7	G	105 Ovest	+7	T
120 Est	-8	H	120 Ovest	+8	U
135 Est	-9	I	135 Ovest	+9	V
150 Est	-10	K	150 Ovest	+10	W
165 Est	-11	L	165 Ovest	+11	X
180 Est	-12	M	180 Ovest	+12	Y

La correlazione del fuso e dell'ora, in questa tabella è nominale, ma ovviamente quello che deve essere tenuto conto è lo standard adottato in quel paese. Basti citare l'esempio sopra menzionato che in Europa centrale per un'ampiezza di molti fusi si usa un unico orario e pertanto non standard al singolo fuso.

### 3.3.1.2) Linea di cambiamento di data

Abbiamo visto come l'introduzione dei fusi orari ha standardizzato le ore di tutti i paesi. Benché in ogni zona della Terra, molte nazioni, si sono affidate ad un meridiano in particolare per definire il proprio orario, vi è una tendenza che può apparire bizzarra, intrinseca alla sfericità della Terra ed al suo moto di rotazione. Se prendiamo una nave o un aereo e intraprendiamo un viaggio lungo il

parallelo, attraversando più fusi orari in poco tempo, si dovrà rimettere l'orologio adeguandosi allo standard del paese sorvolato con uno spostamento medio di +1 ora per fuso viaggiando verso EST, - 1 ora per fuso viaggiando verso Ovest. Tale adeguamento è il responsabile del fastidioso fenomeno detto "*jet-lag*": in pochi secondi possiamo ritoccare l'orologio meccanico, ma quello biologico, umano, ha bisogno di più tempo, anche di giorni. Questo adeguamento implica che virtualmente spostandoci lungo il parallelo si effettua un viaggio nel tempo, nel futuro verso Est, nel passato verso Ovest. Se viaggiassimo di continuo sempre lungo una direzione si potrebbe pensare di applicare questo principio all'infinito, eseguendo 10 giri attorno alla Terra, ci dovremmo spostare di 10 giorni, ovviamente assurdo. Completando un giro, praticamente siamo tornati nello stesso luogo di partenza, e pertanto si è ripreso lo stesso orario, né del futuro, né del passato. A causa della sfericità della Terra è evidente che ogni zona nello stesso instante applica tutte le 24 ore diverse. Viaggiando in una direzione ci si è spostati nel tempo, ma infine spostandoci ancora abbiamo virtualmente effettuato un viaggio temporale inverso che ha compensato lo spostamento del tempo. Questo fenomeno causò non poche perplessità al primo viaggio di circumnavigazione della Terra. **Fernando Magellano** (1480-1521) era al comando di una flotta di 5 navi partite da Huelva con rotta verso Ovest, ma di queste solo una riuscì a tornare, la nave Victoria. **A. Pigafetta** (1485-1534), scrivendo una relazione di viaggio, evidenzia come l'equipaggio rimase incredulo quando giunti alle isole di Capo Verde appresero di avere perso un giorno per la strada. Secondo le osservazioni dei libri di bordo, di 5 anni di viaggio, pensavano di essere giunti mercoledì 9 luglio, quando il resto del mondo affermava di averlo già passato e che il loro scorrere del tempo era stato superiore di 1 giorno, ovvero era Giovedì 10 Luglio. Per molto tempo nessuno fu in grado di capirne la causa, le varie argomentazioni delle università di tutta Europa non arrivarono a comprenderne il fenomeno. Solo molto tempo dopo **P.M. d'Anghiera** (1456 -1526) infine ne svela le cause: viaggiando verso ponente, i primi circumnavigatori del globo, non facevano che inseguire il Sole, ritardandone il tramonto. Completando il giro della Terra avevano ritardato esattamente di 24 h. Mentre navigavano, avevano trascorso le giornate un po' più lunghe del consueto, ma di certo non potevano accorgersene dato che si sono distribuite in 5 anni, una media di circa 47" in più al giorno. E pensare che gli Egiziani, circa 2000 anni prima, già conoscevano questo fenomeno utilizzandolo per la misura della longitudine. Ma questa è una storia che vedremo nei prossimi capitoli. Ad eliminare il meccanismo dei viaggi del tempo, oltre le 24 h è stato stabilito, per convenzione, che sulla Terra esista un meridiano fondamentale, l' "*antimeridiano di Greenwich*", chiamato anche "*linea del cambiamento di data*", superata la quale si cambia il tempo di 1 giorno. Viaggiando verso EST abbiamo detto che si viaggia verso il futuro, ed ecco che in un istante, superata tale linea virtuale, si torna indietro di 1 giorno. Viceversa viaggiando verso Ovest, come andare indietro nel tempo, superata tale linea si dovrà spostare l'orologio esattamente di 1 giorno avanti. In tal modo non potremo mai effettuare viaggi geografici nel tempo superiori a 24 h. Virtualmente in prossimità di tale linea basta eseguire un passo nella direzione Est per cambiare la propria data di un giorno indietro, e viceversa eseguendo un passo verso Ovest per cambiare la propria data di un giorno avanti. Altro che aereo, un simile passaggio ha come vantaggio di non subire danni dal jet-lag, perché pur cambiando giorno si mantiene lo stesso orario, l'unico difetto è di ricordarsi bene la data di un appuntamento se effettuata ad Est o ad Ovest di tale linea. **Umberto eco** si è divertito ad esaltare questi aspetti del cambiamento di data nel suo libro "*L'isola del giorno Prima*". Il caso ha voluto che l'antimeridiano di Greenwich cascasse quasi in pieno oceano pacifico, nella zona meno popolata della Terra. Ovviamente questo semplificò molto la vita alla commissione internazionale quando adottò il sistema dei fusi orari. Però la linea non segue perfettamente l'antimeridiano, ma si adegua ai vari territori e politicamente agli insiemi di isole attraversate. Ad esempio tale linea ideale esegue una sterzata in prossimità dello stretto di Bering, che separa l'Asia dall'America, in modo

ché non dividi alcun territorio continentale. Ma se volessimo seguire la suddivisione geometrica naturale della Terra, la linea del cambiamento di data dovrebbe passare esattamente dallo stretto di Bering e dividere in due l'oceano pacifico. Dalla parte opposta avremmo il meridiano fondamentale, la longitudine zero, che casualmente passa per l'Italia. Un riferimento che guardando le Terre emerse, appare più naturale, che quello adottato politicamente di Greenwich, e dato che prima o poi tutto cambia, per legge di giustizia geometrica naturale, potremo vedere in futuro avanzare il progetto di spostamento di tutti i sistemi di riferimento temporali della Terra, spodestando il meridiano fondamentale di Greenwich per un luogo Italiano. A tal proposito avanzo la proposta di un meridiano di riferimento che passi per Firenze, e più esattamente dall'osservatorio di Arcetri. L'osservatorio si trova a  $-11^{\circ} 15' 15''$  di longitudine rispetto a Greenwich, e il suo antimeridiano passa a  $168^{\circ} 44' 45''$  di Logitudine, quasi esattamente a metà dallo stretto di Bering dividendo in due l'oceano Pacifico.

### 3.3.1.3) Ora legale e Ora Solare

A complicare i calcoli del nostro marinaio, e a dimostrazione di come il tempo Solare Vero sia stato sempre più maltrattato, il tempo civile dei fusi orari è stato modificato ancora dall'introduzione dell'"ora legale" (GMT + 2), un anticipo di 1 ora rispetto all'ora convenzionalmente accettata. Un termine improprio, dato che usiamo sempre un'ora legale, per legge, e pertanto si dovrebbe parlare di ora estiva. A causa delle varie crisi mondiali di energia, si è cercato di ridurre gli sprechi della fonte elettrica. Le attività di consumo dovute alle abitudini degli uomini seguono orari diversi da quelli degli standard locali internazionali adottati. Al fine da diminuire questi consumi e far instradare le attività umane in orari per cui si consuma meno luce, in alcuni periodi dell'anno si usa cambiare l'ora. L'adozione dell'ora del fuso dell'Europa centrale (GMT + 1) aveva in molte località sbilanciato la durata del giorno con quello della notte spostandoci il mezzogiorno solare. Ma dato che l'ora estiva viene applicata anche al meridiano centrale, dove tale sbilanciamento non è presente, evidentemente le abitudini e conseguentemente le attività umane, non sono in sintonia con i consumi dipendenti dal ciclo giorno-notte. L'idea dell'introduzione dell'ora legale non è recente, fu proposta per la prima volta, attraverso una pubblicazione su di un giornale francese, "*Journal de paris*", nel 1784 da **Benjamin Franklin**, con la finalità del risparmio energetico. In quel periodo il consumo dell'energia non era ancora molto diffuso e l'idea non venne accolta, ma cominciò a ritornare di moda nel 1907 con il britannico **William Willet** che elaborò un sistema complesso. Scoppiata la prima guerra mondiale, il problema del risparmio energetico divenne molto sentito e nel 1916 la camera dei comuni di Londra approvò l'ora legale, il "*British Summer Time*". Di seguito lo imitarono gli altri paesi europei, compresa l'Italia che, per la prima volta in assoluta venne applicata nel 1916 dal 3 giugno al 30 settembre, poi negli anni successivi fu anticipato a marzo. Dopo il 1920 non fu più applicato, ma ogni qualvolta si sentiva odore di crisi energetica è sempre ritornato di moda. Infatti durante la seconda Guerra mondiale fu introdotto il periodo di ora legale più lungo della storia italiana dal 14 giugno 1940 al 2 novembre del 1942. Dal 1966, spostando continuamente la data di inizio e di fine, l'ora estiva fa parte della vita quotidiana del nostro paese. Per chi è interessato a visionare tutte le date esatte applicate nella storia può consultare il sito web dell'istituto IEN Galileo Ferraris di Torino: <http://www.ien.it/tf/time/index.html>. Attualmente seguiamo la Direttiva 2000/84/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 gennaio 2001, la quale stabilisce che tutti i paesi membri della comunità europea dal 2002, devono applicare contemporaneamente l'ora estiva (+ 1 ora, GMT + 2) dall'ultima domenica di Marzo all'ultima domenica di Ottobre; questo fino a 2006, dopodiché per l'anno successivo dovrà essere emanata

un'altra direttiva comunitaria. L'unica anomalia è che la direttiva chiede che l'ora del passaggio del periodo dell'ora legale a quella solare e viceversa, avvenga sempre alle ore 01:00 del mattino, quando invece in Italia si applica alle 2 o alle 3. La corsa agli standard internazionali dell'ora ha fatto sì che il problema non sia solo europeo, ma coinvolge tutti i paesi del mondo. Tale adeguamento ha sempre corrisposto dei problemi per la sua accettazione, ad esempio nel Giappone trova contrari i contadini e per i timori che un'ora di sole in più pregiudichi l'impegno degli studenti. Nel sud del mondo, dato che le stagioni sono ribaltate, l'ora legale trova la sua applicazione invertita rispetto al nord del mondo. Ma quello che non ho mai capito, è come mai tanto sforzo operato tramite una legge, basta cambiare abitudini. Spostiamo semplicemente le attività di un'ora, invece di alzarsi alle 7 del mattino, alziamoci alle 8, l'orario di ingresso di lavoro è alle 8, spostiamolo alle 9. Se lo spostamento di tale ora è vantaggiosa perché non farlo per sempre? Una volta entrato nelle abitudini di ogni giorno nessuno lo contesterebbe. E dato che i mass media sono il punto di forza delle abitudini dei cittadini, tutti i programmi possono essere spostati, compreso il telegiornale della sera che dalle 20:00 può essere dato alle 21:00, e conseguentemente i Film della prima serata dalle 21:00 alle 22:00. In tal modo non avremmo bisogno di sprecare energia dei nostri politici per decretare sempre nuovi metodi, non ci sarebbe bisogno di applicare nessuna ora legale, ed avere un risparmio potenziale esteso a tutto l'anno. Ogni paese, aderente allo standard locale internazionale, potrebbe scegliere l'ora delle proprie attività senza discostarsi troppo. Insomma non arriverebbe mai ad alzarsi o dormire a mezzogiorno. Le attività umane, pur salvaguardando lo standard europeo del fuso dell'Europa centrale non avrebbero più il jet-lag per legge.

### **3.4) Sistemi di riferimento celesti**

I vari metodi utilizzati dai marinai per individuare le proprie coordinate terrestri, si basano sulla posizione degli oggetti celesti. L'assenza di riferimenti in mezzo all'oceano rese indispensabile cercare negli astri dei punti fissi che venivano a mancare sulla terra, e fu così indispensabile riportare nel cielo le coordinate geografiche tracciate idealmente sulla terra. Attraverso un confronto della loro posizione, con quella che si osserverebbe ad una determinata località, si riesce ad individuare la latitudine e la longitudine. Avviene così che oltre ad avere conoscenze sulla scienza della cartografia terrestre i navigatori sono obbligati a conoscere la scienza che identifica le posizioni degli astri nel cielo. Anche qui però la situazione è alquanto complicata, vi sono vari metodi che dipendono dal punto di vista dell'osservazione.

#### **3.4.1) La sfera celeste**

Tutti i corpi celesti sembrano muoversi su di una superficie ideale di una sfera. Questa illusione è dovuta alle enormi distanze che i corpi celesti hanno rispetto alla terra. Non essendo in grado di percepire la loro distanza, mentalmente li collochiamo tutti su di una superficie immaginaria interna della sfera celeste, come se percorressero un cammino legati al medesimo raggio. Dato che l'osservazione è situata su di un punto della terra, il centro della sfera celeste è come se fosse situato sulla sua superficie. Al fine da poter capire le varie relazioni dei moti celesti si sono adottati diversi metodi di lettura delle posizioni che hanno via via modificato il punto di vista dell'osservazione del cielo, e complicato la sua comprensione.



### 3.4.1.1) Coordinate Sferiche

Il sistema di coordinate cartesiane su 3 dimensioni spaziali si basa su 3 *piani ortogonali*, i quali si incontrano su 3 assi  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . I 3 piani condividono un unico punto di tutto lo spazio, e questo è chiamato *origine* (O). Diventa il punto di riferimento da cui noi possiamo determinare tutti gli altri punti. Ma tutti i sistemi adottati in astronomia non sono sistemi di *coordinate* cartesiane, bensì *sferiche*. Una coincidenza dei due sistemi è nel punto di origine. Le coordinate sferiche hanno anche bisogno degli altri riferimenti cartesiani che diventano, l' "*asse polare*", il "*piano*", e una "*direzione di riferimento*" da cui determinare una coordinata. Poiché ci troviamo in uno spazio tridimensionale per determinare un qualsiasi punto abbiamo comunque bisogno di 3 variabili. Come mostrato dalla fig. 15, si identificano due coordinate fondamentali in similitudine alle coordinate su di un piano come:

- *Ascissa sferica*. ( $\lambda$ )
- *Ordinata Sferica*. ( $\beta$ )

Grazie a queste due coordinate siamo in grado di fornire una direzione di qualsiasi oggetto nello spazio a partire dal punto origine.

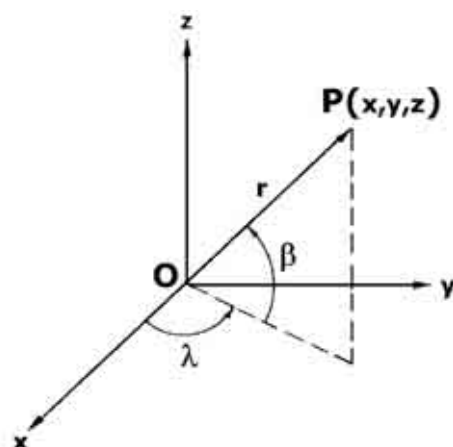


Figura 15 Coordinate Sferiche

Su tale direzione però, possiamo trovare in coincidenza tutti i punti dello spazio della semiretta (distanze), compresi dall'origine all'infinito. Pertanto per sceglierne uno si deve introdurre il parametro distanza " $r$ ", la terza variabile.

### 3.4.1.2) Coordinate Sferiche Polari

Nella stragrande maggioranza dei sistemi utilizzati per individuare un astro nel cielo, la *distanza* viene **ignorata**. Poco importa sapere che una stella si trovi a 100 o 1000 anni luce, per poterla osservare occorre solo la direzione in cui guardare. Questi sistemi di coordinate sono chiamati sistemi sferici polari. Sono identici alle coordinate sferiche, ma hanno solo due variabili, sufficienti per indicare un punto sulla volta celeste. I vari corpi si muoveranno sulla superficie della sfera ideale dell'Universo e detti spostamenti vengono chiamati "*archi*". Benché siano sufficienti 2 coordinate per individuare un punto è necessario stabilire, come convenzione, 4 parametri fondamentali che servono come riferimento. In analogia alle coordinate terrestri si suddivide la

sfera celeste in una griglia di coordinate di *meridiani e paralleli celesti*, e pertanto per poterlo fare devono essere determinati:

1. Un *punto origine*.
2. Un *piano di riferimento* su cui ruotiamo la volta celeste con centro di rotazione il punto origine.
3. A partire dal punto origine, si determina una *direzione di riferimento* giacente sul piano, in analogia alla longitudine zero.
4. Il *senso di rotazione*.

Avendo stabilito su quale piano fare ruotare la sfera celeste attorno ad un punto origine è automatico l'individuazione degli altri parametri della sfera. La rotazione della sfera, è analoga alla rotazione della terra, definito il piano di rotazione è automaticamente definito l'equatore l'asse e i poli. I cerchi meridiani sono definiti come cerchi ausiliari e il parallelo dell'equatore come cerchio base.

### **3.4.1.3) Classificazione centrica dei sistemi di coordinate**

I vari sistemi di coordinate astronomiche adottate possono essere catalogati per la scelta del centro della sfera celeste, ovvero a secondo della scelta del loro punto origine:

- Topocentriche (Origine sulla superficie della terra, quindi l'osservatore)
- Geocentrica (Origine nel centro della Terra)
- Selenocentrica (Origine nel centro della Luna)
- Eliocentrica (Origine nel centro del Sole)
- Baricentrica (Origine nel baricentro del sistema Solare)
- Galattocentrica (Origine nel centro della nostra galassia, la Via Lattea)
- SuperGalattocentrica (Origine nel centro dell'ammasso locale di galassie)

Fintanto che osserviamo oggetti estremamente distanti, passare da un sistema centrico all'altro non è un problema, si tratta semplicemente di traslazioni sferiche di tutta la volta celeste, mantenendo le reciproche distanze angolari di tutti i corpi. Ma quando si passa ad osservare corpi celesti la cui distanza non è elevata, cambiare l'origine del sistema di riferimento delle coordinate, comporta una proiezione diversa dell'oggetto sulla sfera celeste, di conseguenza non sono rispettate le distanze relative fra i singoli corpi ma si deve tenere conto della diversa posizione proiettata. Ad esempio se osserviamo le stelle, passare da un sistema *topocentrico* al *geocentrico* o perfino all'*eliocentrico*, a causa delle loro distanze le direzioni relative rimangono sempre le stesse. Ma le stesse stelle che noi vediamo ad occhio nudo sparse per tutta la volta celeste, se osservate dal sistema galattocentrico (dal centro galattico) sono tutte raccolte nella stessa direzione del sistema solare. Ciò che noi osserviamo in prevalenza sono oggetti che si trovano nelle immediate vicinanze, e pertanto viste dal centro galattico non è altro che una piccola zona concentrata in una direzione di tutta la galassia.

### **3.4.2) Tipologia dei sistemi di coordinate**

I vari sistemi di coordinate sferiche adottati possono essere suddivisi in due classi distinte:

- Sistemi di "*Coordinate Locali*"
- Sistemi di "*Coordinate Uranografiche*"

### 3.4.2.1) Sistemi di Coordinate Locali

In questo tipo di sistemi, le coordinate degli oggetti celesti dipendono dal *luogo dell'osservatore*. Si avranno perciò coordinate celesti variabili in funzione della posizione sulla superficie terrestre. Presi due osservatori, nello stesso istante, rileveranno diverse coordinate di un astro, e per la sua individuazione dovrà essere tenuto conto delle coordinate terrestri.

#### 3.4.2.1.1) Sistema Azimutale

Il *sistema Azimutale*, vedi fig. 16, è un sistema di coordinate astronomiche sferiche polari. Dato che si basa sull'osservatore, è un sistema di coordinate astronomiche molto facile da capire, si basa sul considerare il cielo come è praticamente osservato. I quattro riferimenti base sono costruiti direttamente sul luogo. Il *punto origine* è l'**osservatore** stesso, il *piano di riferimento* è rappresentato dalla **superficie della terra**, la *direzione di riferimento* è la linea che parte dall'osservatore nella **direzione del Sud geografico**. Tale **linea virtuale incontra l'orizzonte** in un punto (cardinale sud) e questo diventa il *riferimento zero delle coordinate*. Il *senso di rotazione* della sfera polare, da non confondere con la volta celeste, è **diretto**, ovvero è **orario**, questo ci permette di definire i poli della sfera di coordinate: uno alto ed uno basso. L'alto diventa lo *zenit* e il basso il *nadir*. Avrei dovuto chiamarli polo nord e polo sud, ma ho evitato di proposito dato che per consuetudine si utilizza il termine di poli in senso geografico e celeste uranografico; per non introdurre un terzo sistema con termine polare meglio chiamarli con tali nomi. L'*asse di rotazione* della sfera di coordinate è la **verticale del luogo**, ed è la direzione del filo a piombo dei muratori (quindi dipendente dalla gravità della Terra) perpendicolare al piano dell'orizzonte dell'osservatore (determinabile con una livella).

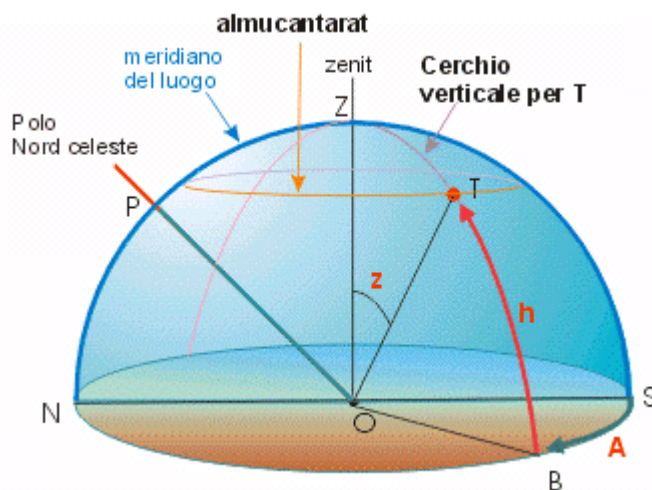


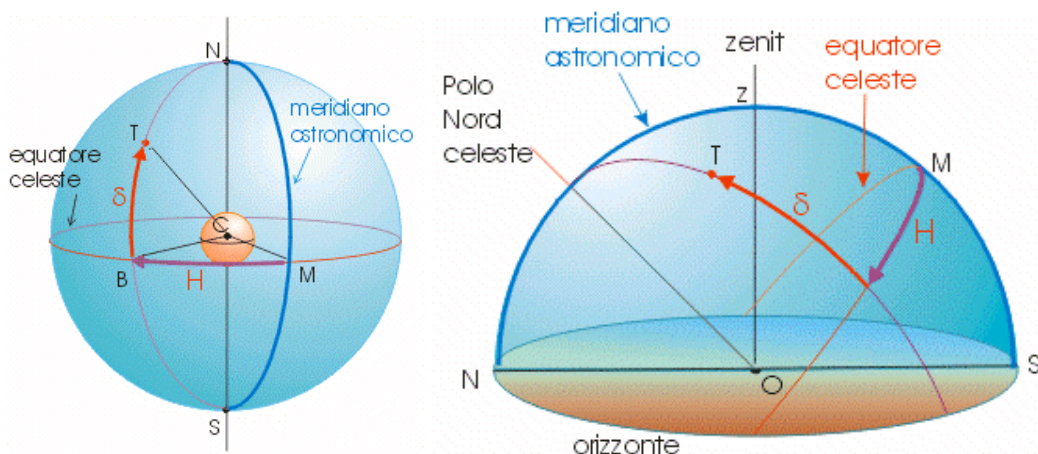
Figura 16 Sistema Altazimutale

Come per la superficie terrestre, si può costruire una griglia di coordinate, abbiamo i cerchi minori (cerchi paralleli), i cui punti presentano la stessa altezza dall'osservatore, che sono chiamati "*almuncantarat*". Dove il cerchio maggiore *almuncantarat* è l'*orizzonte* (analogo all'equatore della Terra), il quale determina il riferimento zero di coordinate e suddivide la sfera di coordinate in due emisferi. *Almuncantarat* è un termine arabo, a ricordo di come nel medioevo, contrariamente agli



coordinate parzialmente indipendente dalla posizione geografica dell'osservatore. Questa differenza verrà meno, ovvero i due sistemi (azimutale e orario) si troveranno coincidenti quando un osservatore si troverà in uno dei due poli geografici e il cerchio dell'equatore sarà coincidente con l'orizzonte. La **direzione di riferimento**, la stessa del sistema azimutale, è la linea che parte dall'osservatore nella direzione del Sud geografico. Tale linea virtuale incontra l'orizzonte in un punto (cardinale sud) e questo diventa il riferimento zero delle coordinate. Il **senso di rotazione** della sfera polare osservato nell'emisfero boreale della terra, è quello della volta celeste, è diretto, ovvero è orario, questo ci permette di definire i poli della sfera di coordinate che sono denominati Polo Nord e sud celesti. Avendo spostato il piano di riferimento, i poli del sistema di coordinate non coincideranno più con la verticale dell'osservatore, ma ne saranno indipendenti e fissati convenzionalmente. L'asse del sistema di coordinate pur passando dall'osservatore si troverà parallelo all'asse terrestre e si conficcherà nella volta celeste nei due punti polari. In pratica date le distanze delle stelle, il prolungamento dell'asse terrestre coinciderà con quello dell'osservatore, e per quello Nord si troverà quasi esattamente centrato, con meno di  $1^\circ$  di differenza, con la famosa stella dell'orsa minore, alfa ( $\alpha$ ), una supergigante gialla, distante circa 700 a.l., per l'appunto denominata polare. Analogamente al sistema azimutale possiamo costruire una griglia di coordinate, i meridiani celesti sono i cerchi ausiliari chiamati cerchi orari e sono i cerchi massimi, costruiti sulla volta celeste, passanti per i poli celesti. I paralleli celesti sono i cerchi minori tutti paralleli all'equatore celeste. Il cerchio massimo dei paralleli celesti coincide con l'equatore celeste e suddivide la sfera celeste in due emisferi. Le due coordinate fondamentali che servono per individuare un astro sono chiamate:

1. Ascissa sferica: *Angolo Orario* (HA o H)
2. Ordinata sferica: *Declinazione* (D o  $\delta$ )



**Figura 17** Sistema di coordinate orario

L'angolo orario è l'arco lungo il cerchio dell'equatore celeste, la distanza angolare espressa in ore minuti secondi ( $^h \ ^m \ ^s$ ) con valori da  $0^h \leq HA \leq 24^h$ , a partire dal punto incrocio con il meridiano locale (dell'osservatore o meridiano astronomico), chiamato *mezzo cielo*, in senso orario (per un osservatore boreale), da est in direzione sud-ovest, verso il punto di incontro con il cerchio verticale



passante per il corpo celeste. Purtroppo però anche in questo sistema non vi è un unico standard e si può incorrere nella più totale confusione. Sono possibili altre modalità, ad es. si può misurare **HA** positivo verso Ovest da  $0^h$  a  $12^h$ , e negativo verso Est da  $0^h$  a  $-12^h$ , così come si possono usare gradi o radianti. La declinazione con simbolo (**D**), o indicata anche con la lettera greca delta ( $\delta$ ), l'ordinata sferica del sistema equatoriale, è l'arco di meridiano, cioè la distanza angolare di un punto dal piano dell'equatore celeste, misurata lungo il cerchio orario. Si misura in gradi minuti e secondi ( $^{\circ} \ ' \ ''$ ) da  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  ( $-90^{\circ} \leq \delta(HA) \leq +90^{\circ}$ ), lo zero è l'equatore celeste con segno positivo, nella direzione del Polo Nord Celeste e negativo, da  $0^{\circ}$  a  $-90^{\circ}$ , nella direzione del Polo Sud. Il vantaggio di tale sistema di coordinate è che la declinazione di un corpo celeste rimane fissa, in quanto legata al cerchio dell'equatore diventando indipendente dalla localizzazione dell'osservatore sulla Terra. Però l'angolo orario varia in funzione del tempo perché questo invece è legato alla longitudine geografica dell'osservatore e non al moto della sfera celeste, nel corso delle ore gli astri cambieranno continuamente il loro angolo orario. Questo sistema di coordinate è necessario per identificare la posizione di un corpo celeste di cui si conoscano solo le coordinate equatoriali. Il sistema orario, dato il suo riferimento equatoriale e la sua dipendenza dall'ora, è chiamato anche sistema equatoriale relativo.

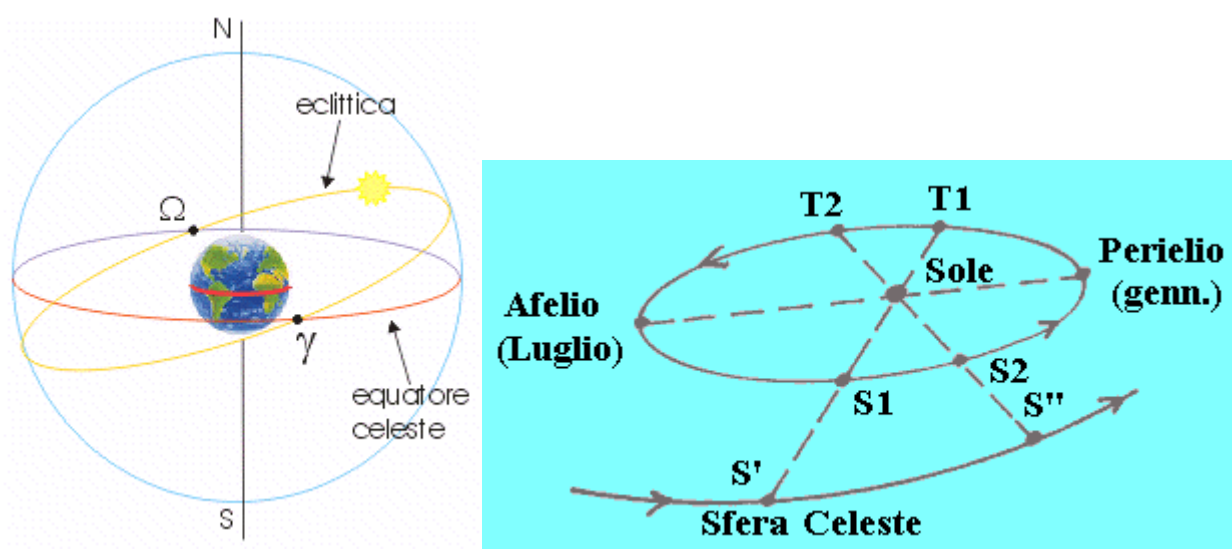
### 3.4.2.2) Sistemi di Coordinate Uranografiche

In questo tipo di sistemi, le coordinate degli oggetti celesti non dipendono dal luogo dell'osservatore. La posizione di un astro viene data indipendentemente dall'osservatore e dalla rotazione della Terra. Viene definito uno standard univoco per la ricerca dei corpi celesti, da qualsiasi posizione ci troviamo e in qualsiasi orario si effettua l'osservazione le coordinate celesti rimangono inalterate.

#### 3.4.2.2.1) Sistema Equatoriale Assoluto

Il *sistema equatoriale assoluto* è un sistema di coordinate astronomiche sferiche polari uranografico, molto simile al sistema orario. Quest'ultimo aveva fatto un passo rilevante di indipendenza dal sistema azimutale, ma non è totalmente svincolato dall'osservatore, dalla rotazione della terra. Il sistema equatoriale riesce completamente in questo intento perché **cambia** anche la **direzione di riferimento**, non più legato alla superficie della Terra ma ad un riferimento celeste. Mentre il **centro del sistema**, il **piano fondamentale**, il **senso di rotazione** sono identici al *sistema Azimutale*, per la **direzione di riferimento** si deve introdurre un'altra informazione: il "*piano dell'eclittica*". L'eclittica, vedere fig. 18, è il percorso del Sole nel cielo proiettato sulla volta celeste, quando è osservato dalla Terra. Il significato della parola **Eclittica** è "*luogo delle eclissi*", perché gli antichi si accorsero che quando la Luna si trova esattamente su di esso può verificarsi un'eclissi. Ma il moto apparente del Sole è un moto che riflette il moto di rivoluzione della Terra. Se l'asse di rotazione terrestre fosse perfettamente perpendicolare al piano di rivoluzione, nell'arco di un anno il sole verrebbe proiettato sulla volta celeste esattamente all'equatore celeste. Ma dato che è inclinato di circa  $23^{\circ} 26'$ , si modifica la posizione in altezza del Sole, descrivendo un percorso circolare non coincidente, come se fosse adagiato su di un piano inclinato rispetto al piano equatoriale, equivalente ad un valore pari a quello dell'asse terrestre. Da ricordare inoltre che a causa di questo si determina il fenomeno climatico delle stagioni. L'inclinazione dell'eclittica rispetto all'equatore, è chiamata *obliquità* ed è indicato con il simbolo " $\epsilon$ ". Il punto interessante di questa storia è che i due cerchi (Equatoriale, Eclittica), dato che sono costruiti sulla sfera celeste, si devono, per legge

geometrica, incontrare in due punti ben precisi. Tali punti indicano dei periodi particolari dell'anno: gli *equinozi di primavera* (che si identifica nei giorni intorno al 21 Marzo) e di *autunno* (nei giorni intorno al 21 ottobre). Equinozio deriva dal Latino *Aequinoctium*, da *Aequus* uguale e *Nòctium* da *Nox - Nòctis - notte.*, con il significato che, sulla Terra, abbiamo la stessa durata del giorno e della notte: coincidono in 12 h ciascuno. In particolare il punto dell'equinozio di primavera, è stato preso come riferimento in antichità per l'inizio del calendario, e il Sole appare percorrere il cerchio dell'eclittica ritornando in tale punto ogni 365,2422 giorni solari medi o *giorni siderali*.



**Figura 18 Cerchio dell'Eclittica**

Detto periodo è chiamato **anno tropico**. I due punti di incrocio sono chiamati *nodi* e in relazione al moto del Sole sono indicati come *nodo ascendente*, noto con il nome di "*punto gamma*" ( $\gamma$ ) (equinozio di primavera) o anche *punto vernale*, e il *nodo discendente* noto con il nome di "*punto Omega*" ( $\Omega$ ) (equinozio autunno). Le due coordinate fondamentali che servono per individuare un astro sono chiamate:

1. Ascissa sferica: *Ascensione Retta* (AR o  $\alpha$ )
2. Ordinata sferica: *Declinazione* (D o  $\delta$ )

La declinazione è identica al sistema Orario e pertanto segue tutte le indicazioni già dette per tale sistema. L'ascensione retta è l'arco di circonferenza sull'equatore celeste, la distanza angolare dal punto di riferimento, con senso di percorrenza antiorario (diretto) per un osservatore boreale terrestre, in valore crescente da sud verso Est, al punto di incrocio con il cerchio orario passante per l'oggetto. Il suo valore è espresso in ore minuti secondi ( $^h m^s$ ) con variazione da  $0^h \leq AR \leq 24^h$ , ma può essere misurato anche gradi minuti e secondi ( $^\circ ' ''$ ) da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  con le seguenti relazioni:  $15^\circ = 1^h$ ,  $1^\circ = 4^m$ ,  $15' = 1^m$ ,  $1' = 4^s$ . Come "*punto di riferimento*", lo zero, è stato preso il punto di incrocio dell'eclittica con l'equatore celeste (equinozio di primavera), che si trova attualmente tra la costellazione dei pesci e l'acquario. Dato che l'intero sistema di riferimento equatoriale partecipa alla rotazione diurna della sfera celeste, l'*ascensione retta* e la *declinazione* sono **costanti** nel tempo, determinando un riferimento universalmente valido, indipendente dalla posizione e dall'orario di un osservatore sulla Terra e per tale motivo chiamato assoluto. Per tale caratteristica, questo sistema di coordinate è quello applicato negli almanacchi astronomici. Benché siano stati

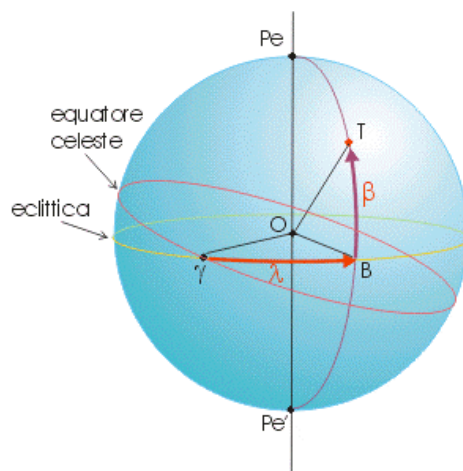
adottati dei riferimenti celesti che ci hanno permesso di slegarci da un moto e dalle coordinate della terra, per definizione è stato scelto un punto non fisso della volta celeste. A causa del terzo moto della Terra, "la *precessione*", la linea dei nodi, punti di incrocio dell'eclittica con l'equatore celeste, subisce un lento moto di deriva che sposta il riferimento dello zero dell'ascensione retta. Il *moto precessionale* è causato da un lento spostamento conico dell'asse di rotazione terrestre rispetto al piano dell'eclittica dovute all'azione gravitazionale del Sole e della Luna che agendo sul rigonfiamento terrestre imprimono una rotazione. L'asse terrestre in tale moto mantiene costante la sua inclinazione rispetto all'eclittica, ma segue un moto circolare come una trottola che lo porta a descrivere un cono, con angolo al vertice di circa  $23^{\circ} 26'$  in circa 25.800 anni, periodo chiamato anche *anno platonico*, con uno spostamento angolare pari a circa  $50''$ ,25 d'arco all'anno. Una deriva sull'eclittica che si muove in senso retrogrado, contrario al moto del Sole anticipando le costellazioni, da cui la denominazione di *precessione degli equinozi* o *retrogradazione dei nodi*. Questo significa che ogni anno si sposta il punto di riferimento lungo l'eclittica e nell'arco di tutto un *ciclo cosmico* ogni parte di una costellazione zodiacale diventa per un determinato periodo il riferimento di tale sistema di coordinate. Infatti il punto gamma è chiamato anche "*punto d'ariete*" ( $\Upsilon$ ), e il punto omega il "*punto della bilancia*" ( $\Omega$ ) in ricordo del passato quando il Sole veniva a trovarsi proiettato nel momento dell'equinozio di primavera e di autunno, al tempo dei Babilonesi. Attualmente si trova all'interno della costellazione dei pesci, ma dato che è al suo confine, entro pochi anni entrerà nella costellazione dell'acquario. Il simbolo della costellazione dell'ariete ( $\Upsilon$ ), data la somiglianza con una lettera greca è stato semplificato con gamma ( $\gamma$ ), ed in qualsiasi costellazione si trovi, oggi per convenzione, ne è il simbolo di riferimento. Il sistema di coordinate equatoriale è il più usato nell'ambito astronomico è utilizzato negli atlanti, nelle carte stellari, per indicare le posizioni delle stelle o qualsiasi corpo celeste, oppure per compilare cataloghi di oggetti quali galassie, stelle, nebulose e altro. Il vantaggio del sistema equatoriale è nell'essere indipendente dalla posizione sulla superficie della Terra e dall'ora. Montando il telescopio in modo tale che il suo asse di rotazione sia perpendicolare all'equatore, il moto apparente delle stelle viene corretto con una sola rotazione. Ma il moto di precessione degli equinozi comporta un aumento progressivo nel tempo del valore di Ascensione retta delle stelle, infatti il punto d'ariete non si trova più in questa costellazione zodiacale ma immediatamente ad Ovest. La deriva degli equinozi non varia solo l'ascensione retta, ma anche la declinazione. Se lo spostamento rimaneva lungo l'equatore celeste, il difetto rimaneva confinato all'ascensione retta, avrebbe modificato le coordinate fino ad interessare una differenza totale di una rotazione completa, ma la declinazione sarebbe stata salva. Invece muovendosi lungo la circonferenza dell'eclittica, la declinazione può variare nel corso di un ciclo cosmico fino ad un massimo di +/- l'obliquità dell'eclittica pari ad una differenza assoluta massima di circa  $46^{\circ} 52'$ . Per questo motivo è necessario specificare la data alla quale si riferiscono le coordinate equatoriali, e ogni anno si devono ridefinire tutte le coordinate dei corpi celesti, ascensione e declinazione. Di solito le coordinate sono riferite alla posizione nell'anno 1950 o 2000 da cui si ricavano quelle dell'anno in corso. Questo implica che se si prendono come riferimento le coordinate di una vecchia carta celeste senza procedere ad alcuna correzione, siamo in errore.

### 3.4.2.2) Sistema Eclitticale

Il *sistema eclitticale* è un altro sistema di coordinate astronomiche sferiche polari uranografico, molto simile al sistema equatoriale assoluto. Mentre il *centro del sistema*, la *direzione di riferimento*, il *senso di rotazione*, sono identici al sistema equatoriale, differisce per la scelta del "*piano fondamentale*" che non è legata alla rotazione della Terra, ma alla sua rivoluzione, ovvero

non è la proiezione dell'equatore ma del piano di rivoluzione dell'eclittica, vedere fig. 19. Le due coordinate fondamentali che servono per individuare un astro sono chiamate:

1. Ascissa sferica: *Longitudine Eclitticale* ( $\lambda$ )
2. Ordinata sferica: *Latitudine Eclitticale* ( $\beta$ )



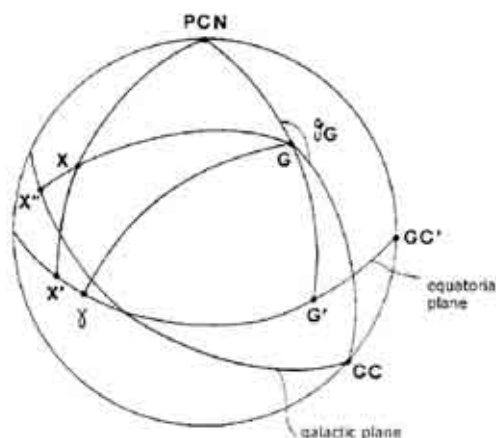
**Figura 19** Sistema di coordinate Eclitticale

La *longitudine eclitticale* ( $\lambda$ ), chiamata anche *longitudine celeste*, è l'arco di circonferenza lungo l'eclittica, la distanza angolare dal punto di riferimento ( $\gamma$ ), con senso di percorrenza antiorario (diretto) per un osservatore boreale terrestre, in valore crescente da sud verso Est, al punto di incrocio con il cerchio ausiliario passante per l'oggetto. Il suo valore è espresso in gradi primi secondi ( $^{\circ}$  ' ") con variazione da  $0^{\circ} \leq \lambda \leq 360^{\circ}$ . La *latitudine eclitticale* ( $\beta$ ), chiamata anche *latitudine celeste*, in modo simile alle declinazioni degli altri sistemi equatoriali, è l'arco di circonferenza lungo il cerchio ausiliario, la distanza angolare dal piano dell'eclittica. Il suo valore è espresso in gradi primi secondi ( $^{\circ}$  ' ") con variazione da  $0^{\circ} \leq |\beta| \leq 90^{\circ}$ . In valore positivo dall'eclittica verso il polo nord eclitticale, e negativo dall'eclittica verso il polo sud eclitticale. Il difetto del sistema di coordinate equatoriale assoluto è nella variazione nel corso di un ciclo platonico (precessione degli equinozi), di entrambe le coordinate. Nel sistema eclitticale, invece la variazione interessa solo la longitudine eclitticale, e la latitudine eclitticale non subirà alcuna variazione a causa dei 3 moti della terra trattati. L'unica variazione che potrebbe incorrere è a causa del 4° moto della Terra, la *nutazione*, che fa oscillare l'asse terrestre lungo il percorso della precessione cambiando, in minimo valore, la latitudine eclitticale. Il sistema eclitticale è considerato importante per lo studio dei moti planetari.

### 3.4.2.2.3) Sistema Galattico

Il *sistema galattico*, vedere fig. 20, è un altro sistema di coordinate astronomiche sferiche polari. Questo sistema si differisce, non poco dagli altri sistemi, per aver scelto diversi riferimenti non più legati alla Terra ma alla nostra galassia, la Via Lattea. In comune con gli altri sistemi ha il **centro del sistema** che rimane sempre l'osservatore, ma date le distanze in gioco, i valori delle coordinate per le stelle varierebbero di un valore insignificante anche se spostassimo il centro ad altri riferimenti all'interno del sistema solare. La differenza più importante è che la scelta del **piano**

*fondamentale* non è più legata al sistema solare, ma al piano di rotazione della Via Lattea. Per il *senso di rotazione* si sarebbe dovuto prendere il verso di rotazione della galassia, ma quello che noi chiamiamo Polo Nord Galattico, che è situato nella "costellazione della Coma", diventerebbe il Polo Sud. Pertanto non viene applicata la usuale definizione ma viene fatta un'eccezione. La *direzione di riferimento* è la direzione dal sistema solare verso il centro galattico.



**Figura 20 Sistema di Coordinate Galattiche**

La direzione del centro Galattico è individuata da una forte radiosorgente nella "costellazione del sagittario" dove probabilmente è presente un buco nero di qualche milione di masse solari. Il nostro sistema solare si troverebbe a circa 8000 parsec di distanza. Il cerchio massimo sulla sfera celeste che giace sul piano galattico è chiamato equatore galattico. Le due coordinate fondamentali che servono per individuare un astro sono chiamate:

1. Ascissa sferica: *Longitudine Galatticale* (*l*)
2. Ordinata sferica: *Latitudine Galatticale* (*b*)

La *longitudine galatticale* (*l*), è l'arco di circonferenza lungo l'equatore galattico, la distanza angolare dalla direzione di riferimento, con senso di percorrenza antiorario (diretto) per un osservatore che presenti il Polo Nord Galattico allo zenit, al punto di incrocio con il cerchio ausiliario passante per l'oggetto. Il suo valore è espresso in gradi, primi e secondi ( $^{\circ} \ ' \ ''$ ) con variazione da  $0^{\circ} \leq l \leq 360^{\circ}$ . La *latitudine galatticale* (*b*), è l'arco di circonferenza lungo il cerchio ausiliario, la distanza angolare dal piano della galassia (dal cerchio dell'equatore galattico). Il suo valore è espresso in gradi primi secondi ( $^{\circ} \ ' \ ''$ ) con variazione da  $0^{\circ} \leq |b| \leq 90^{\circ}$ . In valore positivo dal piano galattico verso il polo nord galattico, e negativo dal piano galattico verso il polo sud galattico. Questo sistema è utile per descrivere la Galassia e le galassie esterne, e proprio per tale motivo che alcuni preferiscono spostare il centro del sistema di riferimento al Sole, infatti per tali oggetti non ha alcun senso, qualsiasi sia il riferimento all'interno del sistema solare e, per definizione, diventa completamente slegato dalla terra. Però non tutte le galassie esterne sono visibili: a causa della Via lattea non possiamo osservare quelle attorno alla latitudine di  $|b| < 10^{\circ} - 20^{\circ}$ . Le coordinate galattiche non sono mai usate per dare posizioni di alta precisione, perché non sono ancora conosciuti con estrema precisione i punti di riferimento galattici. Il *piano galattico*, chiamato dai greci "Galactos", di latte, da cui deriva il nome Via Lattea, per la somiglianza della striscia luminosa bianca sulla volta celeste, è determinato dalla distribuzione dei corpi celesti che



costituiscono la nostra galassia. I riferimenti dipendono dal grado di precisione delle misure operate su un conteggio statistico di stelle secondo il vecchio sistema denominato ( $l^I, b^I$ ), oppure dalla brillantezza superficiale dell'idrogeno interstellare, osservata nel campo radio dello spettro elettromagnetico tramite l'intensità della riga a 21 cm (1420 MHz), nel nuovo sistema ( $l^{II}, b^{II}$ ), ora indicato come ( $l, b$ ). Per dare un'idea di alcuni riferimenti galattici, secondo le coordinate equatoriali assolute (B1950.0):

- Del centro galattico:  $\alpha_{GC} = 17^h 45^m$ ,  $\delta_{GC} = -28^\circ.6$
- Del Polo Nord Galattico G :  $\alpha_G = 12^h 49^m$ ,  $\delta_G = +27^\circ.4$

Il fascino di tale sistema di coordinate è che potenzialmente non è soggetto ad alcuna variazione delle coordinate, o almeno per un lunghissimo periodo. Parlare con coordinate di riferimento locali non permetteva di avere un linguaggio comune in ogni luogo della terra e pertanto è come non aver fornito alcun dato valido (poi in realtà non è proprio così). Con i sistemi di coordinate uranografico, si elimina tale babele e si determina almeno per un attimo un riferimento, comune a tutti, ma rimane dipendente dalla precessione degli equinozi e quindi dal giorno o dall'anno, a secondo della precisione richiesta, del momento di osservazione. Di tali sistemi, quello eclitticale è il migliore, una coordinata non si modifica durante il ciclo cosmico, ma rimane sempre la longitudine eclitticale variabile. Il problema verrebbe completamente risolto adottando il sistema Galatticale, infatti il riferimento adottato non è più legato in alcun modo al moto della Terra, ma al moto dell'intero sistema solare. Anche in questo caso il riferimento non è fisso, ma segue il moto di rivoluzione del sistema solare attorno al centro galattico. Questa volta però non dobbiamo preoccuparci più di tanto, poiché il *ciclo cosmico* del sistema solare questa volta sarebbe enormemente elevato, di ben 220 milioni di anni. Una variazione ben nettamente minore rispetto a quella dovuta al moto proprio di deriva nella galassia e di variazione reciproca fra gli astri. Pertanto non c'è da meravigliarsi che un giorno, quando i riferimenti saranno conosciuti con estrema precisione, si cambierà il sistema di coordinate in favore del sistema galatticale. Finalmente senza più l'incubo di eseguire i calcoli di correzione di volta in volta, o con il timore di non conoscere l'anno delle coordinate equatoriali perché in genere si dimenticano di inserirle come parametri da fornire. Che dire poi dell'era spaziale, quando l'uomo varcherà i confini della terra definitivamente i riferimenti terrestri non avranno più alcun senso, il linguaggio dovrà essere per forza più universale. Il sistema Galatticale o simili dovranno essere abbandonati solo quando si incomincerà a intraprendere dei viaggi extrasolari, ma per il momento questa possibilità, anche se prevedibile, è abbastanza remota.

#### 3.4.2.2.4) Sistema SuperGalatticale

Il sistema SuperGalatticale è un altro sistema di coordinate astronomiche sferiche polari. In tale sistema valgono le stesse considerazioni fatte del sistema galatticale. Differisce per la scelta del *piano fondamentale* (piano supergalattico) che non è legata alla galassia ma con il piano di riferimento allineato con la struttura a grande scala del nostro Universo vicino. Con questo sistema di coordinate si studia l'Universo vicino.

#### 3.4.2.3) Altri sistemi centrici

Tutte le tipologie dei sistemi di coordinate rappresentate sono *topocentriche*, ovvero anche se il sistema di coordinate cambia di punti di riferimento, il punto di origine è sempre l'osservatore. Vi sono molti altri tipi di rappresentazioni che cambiano questa prospettiva. Ad esempio il sistema di coordinate galattocentriche, può essere confuso con il sistema di coordinate galatticale, ma benché

condividano gli stessi riferimenti come lo stesso piano galattico, l'origine è il centro della Via lattea. Negli ultimi anni grazie all'evolversi della tecnologia osservativa si sono creati nuovi sistemi centrici per far fronte alla crescente precisione della posizione degli astri. Traslando dai vari sistemi di coordinate, gli spostamenti delle posizioni relative sono inapprezzabili, ma adesso anche se molto distanti, spostamenti che prima erano irrilevanti adesso corrispondono a spostamenti misurabili. Dal 1997, è disponibile un nuovo riferimento fondamentale, chiamato International Celestial Reference Frame (**ICRF**), basato sulle posizioni di un piccolo numero di radiosorgenti extragalattiche. Il catalogo basato su questo riferimento, la cui origine è stata traslata nel baricentro del Sistema Solare, è chiamato International Celestial Reference System (**ICRS**). Il catalogo del satellite astrometrico europeo Hipparcos è stato riferito a questo sistema, e così lo sono le effemeridi dei corpi del Sistema Solare System pubblicate dal Jet Propulsion Laboratory. Se e quando l'uomo comincerà a viaggiare su e giù per la galassia i sistemi centrici del sistema solare dovranno essere abbandonati per un riferimento più assoluto, galattico. Dato che non seguiremo più i moti della terra, si deriverà dai sistemi topocentrici a galattocentrici. I riferimenti del sistema saranno cercati direttamente in cielo come galassie esterne o altri oggetti interessanti che sicuramente presentano un moto proprio relativo decisamente basso.

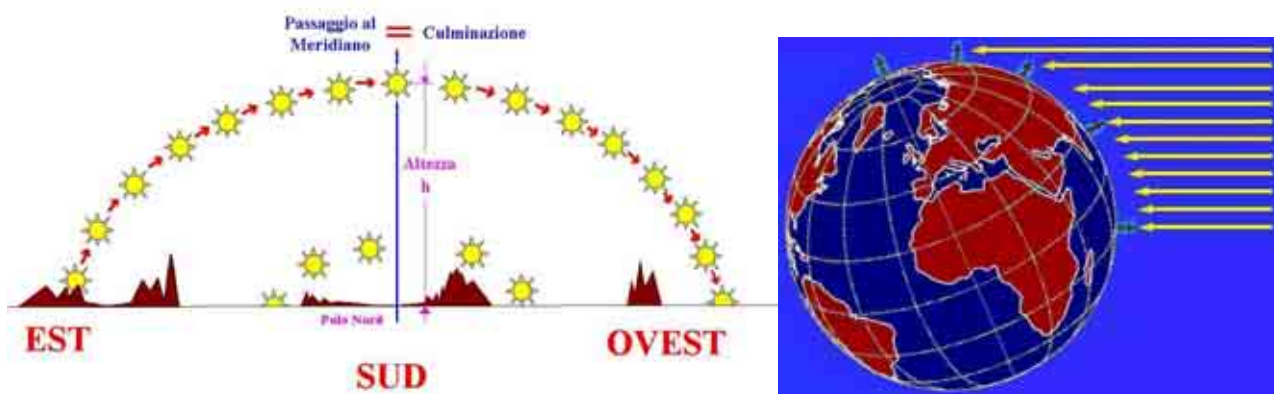
### 3.5) Rilevamento delle coordinate geografiche

Un marinaio, oggi, per individuare la propria posizione sulla superficie della Terra può farlo in vari modi. Ma nell'antichità non avendo a disposizione la tecnologia moderna non poteva far altro che affidandosi solo all'astronomia. Grazie ai vari sistemi di coordinate sia terrestri che celesti è riuscito a trovare quei riferimenti utili che lo hanno aiutato alla navigazione. Ma il percorso per arrivare alla soluzione non è stato poi così tanto facile, nell'antichità questo è stato un miraggio un mito da rincorrere, una impresa considerata impossibile. Quando l'uomo ci è arrivato, chiunque tramite varie trasformazioni di vari sistemi di coordinate ha potuto individuare la propria posizione in mare, navigando con più tranquillità.

#### 3.5.1) Calcolo per la Latitudine di giorno

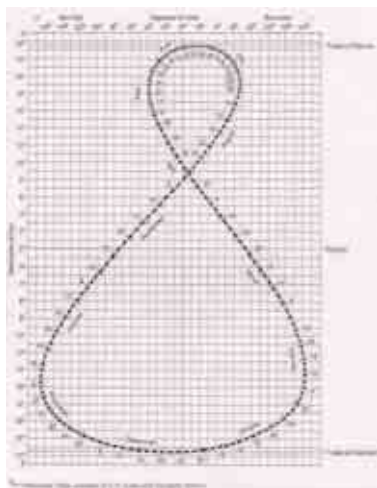
Conoscere la latitudine in mare non è mai stato un problema: il metodo era conosciuto fin dall'antichità. Molti strumenti, come astrolabi, quadranti, orologi solari e notturnali, sono stati costruiti appositamente per avere tale misura. Con il sole di giorno e con alcune stelle di notte, la latitudine si ricava semplicemente misurando l'altezza rispetto all'orizzonte degli astri nel cielo, mediante il *sistema di coordinate locale azimutale* e confrontando apposite tavole numeriche. Una premessa necessaria è che bisogna considerare la terra sferica. Con la Terra piatta, il metodo non trova giustificazione, ma questo concetto fu superato dalla civiltà ellenica, era alla portata di un navigatore antico. Se guardiamo la fig. 21, possiamo vedere come, a causa della curvatura della Terra, un osservatore posto a diverse latitudini osservi il Sole arrivare da diverse angolazioni. I raggi del sole, data l'enorme distanza (ben 150 milioni di Km in media), investono ogni luogo provenendo dalla stessa direzione. Un osservatore posto all'incirca nella zona dell'equatore vedrà arrivare tali raggi allo zenit, ovvero sopra la testa, ma via via che ci spostiamo verso i poli, la direzione si sposta sempre più verso l'orizzonte. In pratica la variazione dell'inclinazione dei raggi solari è collegata alla variazione di latitudine. Banalmente conoscendo l'inclinazione dei raggi solari possiamo capire a che latitudine ci troviamo. Ma dato che il sole nell'arco della giornata attraversa tutte le inclinazioni possibili bisogna trovare un momento ben preciso che possa servire da

indicatore per dare il via al calcolo. Tale momento è quello che viene chiamato *culminazione*. Ogni astro del cielo si sposta sulla volta celeste sollevandosi in altezza rispetto all'orizzonte partendo all'incirca dalla direzione del punto cardinale EST, raggiunge un massimo da cui poi discende, ritornando verso l'orizzonte, concludendo la giornata immergendosi nella direzione del punto cardinale OVEST. Ogni astro, compreso il sole, procede ballerino su e giù ogni giorno, ma la massima altezza, ovvero la culminazione è il momento più importante perché coincide con il *mezzogiorno solare locale*, distingue la linea meridiana che suddivide in due parti uguali il cielo.



**Figura 21** Latitudine per Culminazione del Sole.

La culminazione del Sole è stata da sempre un riferimento temporale non indifferente: stabilisce la metà della giornata, da cui deriva il mezzogiorno. La massima altezza che raggiunge l'astro nell'arco della giornata pertanto è il riferimento cercato: un marinaio per conoscere la latitudine, non dovrà fare altro che identificare tale altezza e confrontarla con la curvatura della Terra.



**Figura 22** Analemma, lo spostamento della proiezione del Sole al mezzogiorno medio

A meno di difetti dovuti alla ellitticità della curvatura, spostandosi di  $10^\circ$  di latitudine verso Nord, il Sole culmina di  $10^\circ$  più basso sulla volta celeste. Ad ogni buon conto se necessita di estrema

precisione basta avere una tabella per compensare anche i difetti del geoide della Terra, ma il problema è più complicato ancora. Se il Sole mantenesse sempre la stessa altezza di culminazione, ogni giorno, sarebbe stata troppo semplice. Durante l'arco dell'anno il Sole oscilla in altezza, e quindi in culminazione, di un valore doppio della inclinazione dell'asse terrestre. Infatti le stagioni si succedono per tale motivo: agli estremi della variazione, il sole d'estate avrà un percorso sulla volta celeste di circa  $46^{\circ} 52'$  più alto che in inverno. D'estate il Sole essendo molto alto, raggiunge la Terra con un'inclinazione minore tendente alla perpendicolare, d'inverno essendo molto basso, i suoi raggi sono molto obliqui e ciascun raggio distribuisce il suo potere calorico in un'area più vasta attenuando la sua energia. Nel calcolo per determinare la latitudine pertanto i marinai sono costretti a considerare anche tale oscillazione annuale. Oggi il nostro tempo non è più legato al sole vero, ma al sole medio: se ci dovessimo basare sul nostro orologio meccanico lo spostamento dell'ombra del Sole oltre che in altezza si sposterebbe anche in senso orizzontale. Per compensare tale moto si dovrebbe utilizzare un grafico come quello dell'analemma, vedere fig. 22.

### 3.5.2) Calcolo per la Latitudine di Notte

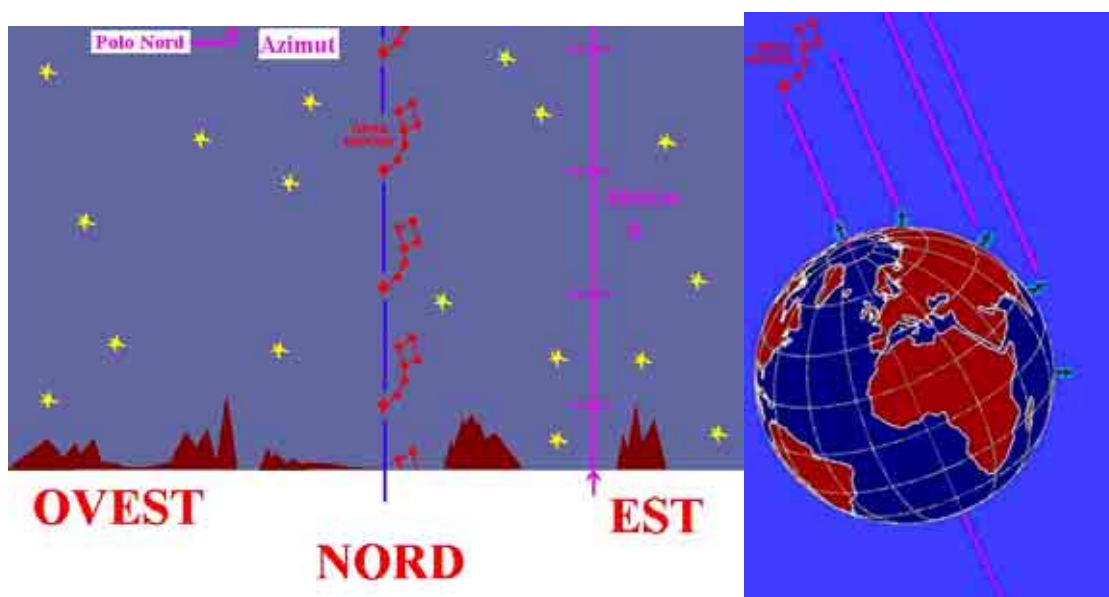
I metodi di calcolo della latitudine di notte sono ancora più semplici che di giorno, infatti non hanno alcuna dipendenza dalla rivoluzione della Terra attorno al sole e quindi sono validi per qualsiasi giorno. Il moto delle stelle sulla volta celeste non è altro che il *moto di rotazione riflesso della Terra*. La sfera celeste appare ruotare nel senso opposto con un asse identico.



**Figura 23** cerchio delle stelle attorno al Polo Nord Celeste

Il prolungamento di tale asse si conficca nel cielo in due punti ben particolari, il Polo Nord celeste e il Polo Sud celeste. Nella nostra epoca il Polo Nord celeste si trova all'interno della costellazione dell'Orsa Minore. In particolare, una stella di questa costellazione si trova vicino a tale punto di riferimento: la stella Alfa ( $\alpha$ ) appunto chiamata stella Polare. La stella polare è l'ultima della coda dell'orsa minore ed è la stella più luminosa della costellazione. Si trova a circa  $1^{\circ}$  di distanza dal Polo Nord celeste ( $89^{\circ}15',9$ ). Il cerchio che viene descritto attorno al punto cardinale è così piccolo da non essere percettibile, di conseguenza ci appare ferma mentre tutte le altre stelle vi descrivono attorno dei cerchi più ampi, vedere fig. 23. Il Polo Sud si trova all'interno della costellazione dell'ottante e non vi troviamo alcuna stella vicina ben visibile. Della stessa costellazione a circa  $1^{\circ}$

di distanza abbiamo la stella *sigma*  $\sigma$ , ma data la sua scarsa visibilità non è stata presa come riferimento, bensì si è andati a cercare la costellazione della "croce del sud" che dista a  $30^\circ$  di distanza in altezza. Qualsiasi oggetto celeste durante l'arco della giornata si alza dall'orizzonte a partire da Est, culmina in altezza lungo il meridiano e poi discende verso ovest. Descrive un arco di circonferenza più o meno grande in relazione alla sua altezza rispetto all'orizzonte. Se si trova molto vicino al polo celeste, alle latitudini alte vi gira intorno senza mai tramontare diventando circumpolare. Le stelle circumpolari dipendono dalla latitudine del luogo sulla terra, più ci avviciniamo al Polo geografico e più le stelle tendono a diventare circumpolari. Quando ci troviamo esattamente ai poli, nessuna stella né sorge né tramonta, diventando tutte circumpolari; il loro moto è parallelo all'orizzonte.



**Figura 24 Altezza della costellazione polare in funzione della latitudine**

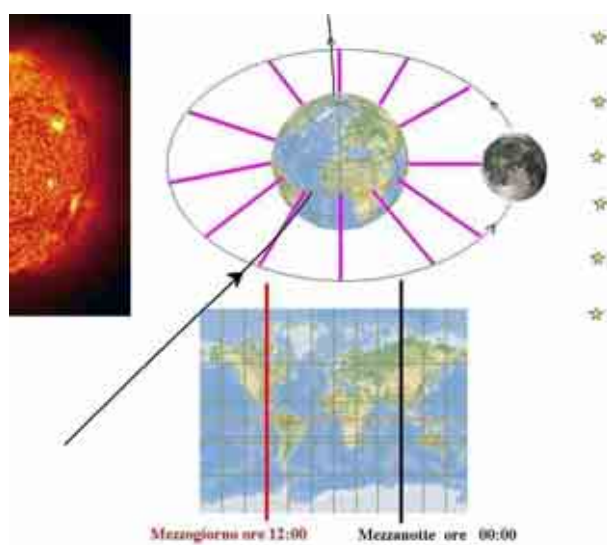
L'ampiezza angolare dell'insieme delle stelle circumpolari già fornisce e riflette il valore della latitudine terrestre, ma in antichità si preferiva riferirsi a qualche stella particolare. Conoscendo la sua distanza dal Polo Celeste, osservavano la culminazione, che avveniva circa alla mezzanotte. Tale altezza forniva il valore da cui si ricavava la latitudine. Ma tale metodo obbligava l'osservazione ad un tempo particolare, come per il Sole di giorno, e pertanto erano più utilizzati altri metodi come quello di osservare il passaggio di una stella allo zenit, infatti, se conosciuta la sua declinazione, automaticamente è conosciuta anche la latitudine geografica di osservazione. Il passaggio allo zenit di una qualsiasi stella, slega l'osservatore dalla dipendenza del tempo, vale a qualsiasi ora della notte, ma obbliga a conoscere molte stelle e a puntare esattamente allo zenit, un punto che non è segnato nel cielo, marcato dai riferimenti da terra. In antichità, nell'emisfero boreale, era d'uso basarsi su di un'unica stella, la stella polare. Il metodo già usato nel periodo ellenico si basava sulla sua altezza, vedi fig. 24, la quale è identica alla latitudine geografica del luogo. A qualsiasi ora della notte, con un limite di accuratezza di circa  $1^\circ$ , basta osservare la distanza della stella polare dall'orizzonte ed abbiamo il valore cercato. Dato che un errore di  $1^\circ$  corrisponde, all'equatore terrestre, a un errore di circa 100 Km, se occorre una precisione maggiore si osserva il cielo per un po' di tempo: ad esempio per un'ora si osserva un arco di spostamento di



15°, sufficienti a individuare l'esatta posizione del polo celeste, e quindi conoscere con maggiore precisione la propria latitudine. Questo metodo è possibile per le stesse considerazioni che avevamo detto per il Sole, date che le distanze dei corpi celesti sono molto elevate, (a qualsiasi latitudine si osservi la stella polare questa ci perviene sempre dalla stessa direzione) e pertanto i raggi di luce che contengono la loro immagine investono la terra tutti paralleli, cosa che non è valida per oggetti molto vicini come la Luna.

### 3.5.3) Calcolo per la Longitudine

Se per qualcuno può apparire difficile il metodo per individuare la latitudine, per la longitudine risulta ancora più complicato. Basti pensare che in navigazione si è potuto beneficiare di un vero e proprio sistema praticamente utilizzabile solo nel XVIII secolo. In pratica non esiste alcun metodo semplice per distinguere un meridiano da un altro neanche quando siamo su di una terra emersa, figuriamoci quando siamo in mare aperto senza alcun riferimento. In apparenza l'impresa sembra impossibile, come lo è stato per molte generazioni di marinai ma infine sono stati provati ed individuati molti sistemi. A parte qualche eccezione che affronteremo più tardi, come sempre l'uomo si è appellato agli dei ovvero all'astronomia. La base di calcolo di qualsiasi metodo astronomico è stato connesso con quello del tempo, cioè con la rotazione della Terra. E' risaputo che la Terra ruota su se stessa in circa 24 h, ovvero in tale tempo è ruotata di 360°, di conseguenza ogni ora a ruotata di 15°, 1° ogni 4 minuti.



**Figura 25** Evento osservato da diverse zone della Terra

Se si osserva un evento astronomico particolare, unico, che avviene ad un istante ben definito, non può essere che osservato allo stesso momento da tutti gli osservatori posti sulla terra. Come evidenziato da fig. 25, ogni luogo della Terra però osserva il fenomeno con orari diversi dipendenti dalla loro posizione rispetto al Sole. Conoscendo in anticipo un tale evento, la differenza tra le varie ore locali fornisce automaticamente la distanza in longitudine fra i vari luoghi. Per fare un esempio, se il pianeta Marte occulta una stella, l'evento è indipendente dal moto della Terra e questo verrà osservato allo stesso istante da qualsiasi zona della Terra. Dato che la terra è curva, spostandoci in

longitudine si osserva la culminazione del sole (il mezzogiorno) ad istanti diversi, ed ecco che se rileviamo che tra due località la differenza è di 1 ora, automaticamente sappiamo che questi due luoghi distano tra loro di 15°, che alla latitudine dell'equatore corrisponde a circa 1670 Km di distanza. Possiamo così ricavare la semplice formula della distanza di longitudine in relazione alla differenza di tempo:

$$\Delta \text{Long}_{(\text{km})} = (15^\circ \text{ T}_{(\text{h})}) * 111.3_{(\text{all'equatore})}$$

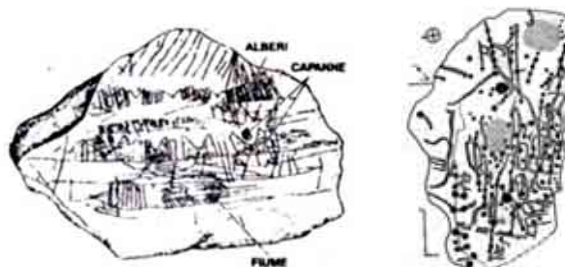
Tale metodo era conosciuto già nell'antichità e i greci lo avevano utilizzato più volte per stabilire le distanze geografiche dei vari luoghi. La difficoltà era nell'avere a disposizione un evento che fosse indiscutibilmente osservato allo stesso istante sapendo in anticipo che sarebbe accaduto. I greci, come altri astronomi di altre civiltà, erano in grado di prevedere un evento particolare che per l'uomo ha avuto tanti significati simbolici non indifferenti: le eclissi. Prevedendo in anticipo un'eclisse di sole o di luna, si preparavano per tempo per poterli osservare da più luoghi della Terra. Non dovevano far altro che rilevare l'ora locale dell'evento legato alla culminazione del sole a mezzogiorno. Misurando le differenze di tempo tra la culminazione e l'evento astronomico locale e a sua volta la differenza del fenomeno fra le località si riusciva a determinare la distanza fra i due luoghi. Ma purtroppo le cose non erano così facili, dato che gli eventi potevano avvenire ad istanti diversi dal mezzogiorno solare, si incappava in errori di misura temporali non indifferenti. Allora non esistevano gli orologi, si utilizzavano clessidre, e l'ombra del sole su di una meridiana. Cosa assai diversa per i marinai del secolo scorso per i quali, avendo a disposizione degli orologi estremamente precisi, era sufficiente consultare delle tabelle astronomiche di eventi particolari con indicato il tempo ad una longitudine di riferimento, ad esempio il porto di partenza. La distanza di tempo misurata con l'orologio fornisce automaticamente la differenza di longitudine con estrema precisione. Il metodo delle eclissi poteva essere utile solo sulla terraferma, la sua rarità non permetteva di poterne usufruire durante un normale viaggio in mare. Bisognava trovare un altro metodo affidabile che potesse essere applicato ogni giorno. La storia della longitudine diviene quindi la ricerca di tale metodo e schiere di validi scienziati si sono succeduti nel tentativo di individuare tali riferimenti. Ognuno ha fornito un piccolo contributo: chi grazie alla costruzione di strumenti molto precisi, chi attraverso osservazioni astronomiche, chi tramite l'applicazione di nuove leggi della fisica, chi con l'applicazione di nuove metodi di formule matematiche, chi, per l'orologio, semplicemente aggiustando ruote dentate e individuando metodi che compensassero gli effetti ambientali come le dilatazioni termiche o variazioni di temperatura, umidità e vibrazione.

## 4) La storia della longitudine

### 4.1) La cartografia: le prime mappe

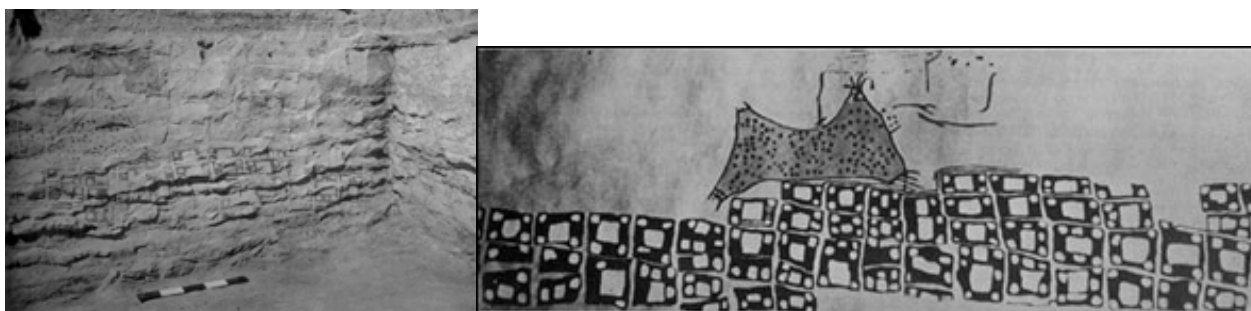
Potremo considerare come il ritrovamento più antico una carta della terra risalente a 120 Milioni di anni fa trovata nel 1999 nella località di Chandar, negli Urali: una lastra, alta 148 centimetri, larga 106, spessa 16 cm e pesante 1,5 tonnellate, perfino con disegnate delle coordinate geografiche. Il professor **Aleksander Chuvynov**, della facoltà di chimica dell'Università di Bashkir, ci informa che è formata da tre strati sovrapposti di dolomite, diopside e porcellana e l'epoca non solo sarebbe convalidata da ritrovamenti di fossili di tale età, ma anche da una rappresentazione tridimensionale della terra di come fossero i fiumi, Cayon, a quell'epoca. La datazione essendo di molti milioni di anni antecedente alla comparsa dell'uomo è un reperto da considerarsi fuori tempo e pertanto non lo possiamo accettare come vero. Probabilmente è frutto di qualche scherzo della natura o dell'uomo o di errata assegnazione temporale. Può darsi che la pietra possa essere datata a quel periodo, ma le

incisioni potrebbero essere successive se non recenti. Dovremo allora rivolgere lo sguardo verso altri reperti più affidabili che almeno rispondono ad un criterio, secondo le attuali teorie scientifiche, della evoluzione delle conoscenze dell'uomo. Quando la navigazione non era ancora sviluppata, e i commerci erano limitati a zone molto ristrette, il problema della longitudine non era sentito, gli spostamenti erano talmente brevi che bastavano pochi riferimenti sulla terra. Infatti la prima esigenza cartografica nasce come piccole mappe per individuare l'interno del proprio villaggio, simili a primitive carte stradali.



**Figura 26** Pietra di Mezin Ucraina  $\approx$  13.000 a.C., e di Jebel Amud 8000-4000 a.C.

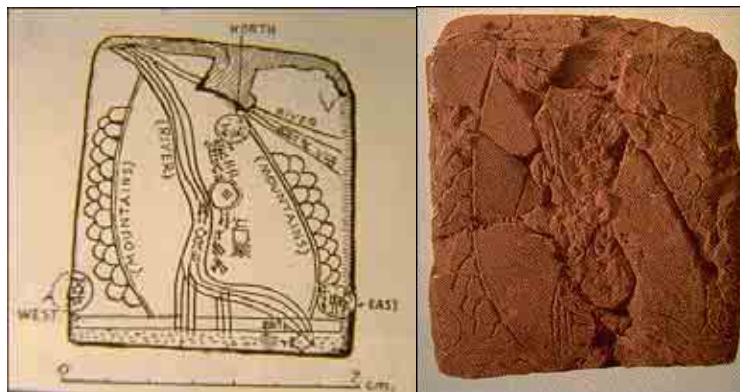
Una delle mappe più antiche che risponde a simili criteri è quella trovata a *Mezin in Ucraina*, vedere fig. 26, risalente a circa 13.000 a.C. Su di una pietra si trovano dei graffiti che rappresentano un accampamento e il fiume che scorre nei pressi. In Giordania meridionale, a *Jebel Amud*, è stata trovata un'altra pietra, del periodo 8000-4000 a.C., fig. 26, coperta da una fitta rete di coppelle che rappresentano gli insediamenti abitativi, e i canali le strade. Altro ritrovamento di rappresentazione antica, individuato nel 1963, risale a una carta incisa, per circa 3 metri di lunghezza, in una roccia di una grotta nell'Anatolia centrale della città Turca di "*Catal Hyük*" del 6200 a.C. (datata con il radiocarbonio).



**Figura 27** Carta Topografica della città Turca di Catal Hyük risalente al 6200 BC

Come si può osservare nella fig. 27, è rappresentata la mappa della città simile a uno stradario moderno, insieme alle abitazioni sullo sfondo è visibile un vulcano a doppio cono con i fianchi ricoperti dalle eruzioni. Presso le rovine dell'antica località di *Ga-Sur*, circa 200 miglia a nord del sito di Babilonia, è stata trovata nel 1930 una tavoletta d'argilla delle dimensioni di circa 7,5 x 6,5 cm, vedere fig. 28, risalente alla dinastia di Sargon di Akkad circa 2300-2500 a.C. che raffigura il territorio della città di "*Ga-Sur*". Si crede che rappresenti la regione dell'attuale Yorghan Tepe ed è una delle più antiche rappresentazioni geografiche: possiamo vedere due fiumi che attraversano una

pianura circondata da montagne che si gettano in mare con un ampio delta. Dei cerchi, rappresentano delle città, e fasci di linee indicano le vie carovaniere. Il corso d'acqua è probabilmente l'Eufrate. Questi primi tentativi cartografici avevano l'intenzione di rappresentare il territorio per finalità esclusivamente pratiche: dall'indicazione di possesso per delimitare le proprietà alla visualizzazione di un itinerario terrestre. Nella fig. 29, possiamo vedere una rappresentazione tipica *neosumerica*, per calcolare l'area, del XXI secolo a.C., di un campo. Queste piante le troviamo già presenti in età accadica (XXIII sec. a.C.). La superficie essendo irregolare è stata suddivisa in rettangoli e triangoli per facilitarne il calcolo. Ai lati della rappresentazione sono presenti annotazioni con misure e a volte riportano indicazioni di tipo amministrativo come la quantità del raccolto, o giuridico come i nomi dei proprietari e dei confinanti.



**Figura 28** Tavola d'argilla della Città di Ga-Sur del 2500 BC.

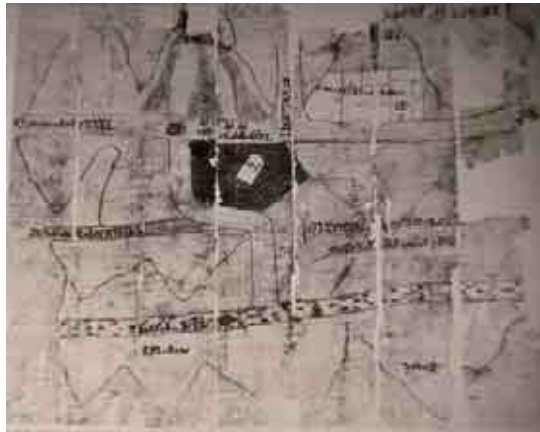
Oltre a ritrovamenti babilonesi abbiamo anche gli egiziani del III millennio a.C. che tramite gli *agrimensori* o "tenditori di corde", dopo le periodiche inondazioni del Nilo, ricostruivano sul terreno i limiti dei poderi usando mappe di tipo catastale.



**Figura 29** Pianta di un campo neosumerico del XXI secolo a.C.

Gli architetti egiziani, per riportare in più grande scala un disegno su una parete, lo riferivano ad un reticolato a maglie quadrate. Ma abbiamo anche testimonianze da parte di **Erodoto** che il faraone **Sesostrì** (ca. 1400 a.C.) durante la campagna contro gli Sciti fece cartografare tutte le terre conquistate. Uno dei ritrovamenti più interessanti è costituito dal papiro di Torino presente al museo egizio della città. Si trova una mappa che rappresenterebbe schematicamente le miniere della Nubia

e pertanto chiamata anche la "*mappa delle miniere d'oro*", vedere fig. 30. La mappa si ritiene dell'epoca del regno di **Ramsete IV** (1150 a.C) e si possono osservare due grandi vie stradali parallele attraverso una catena montuosa di colore rosso. In tale cartina si troverebbero anche delle iscrizioni in ieratico. Una parte del papiro presenta ancora delle difficoltà di traduzione che aspettano di essere decifrate.



**Figura 30** Miniere d'oro della Nubia.

Successivamente anche i Persiani ed i Fenici espressero capacità simili. Furono però le speculazioni cosmografiche degli antichi greci che diedero alla cartografia una base scientifica. Con l'avvento della cultura ellenica, dal VI secolo a.C., la cartografia assume anche un aspetto geometrico "culturale" che la guiderà passo dopo passo a come oggi la conosciamo.

## 4.2) Tipi di Materiale ad uso cartografico

La rappresentazione della terra non è stata un'esigenza solo di varie civiltà classiche europee-asiatiche.



**Figura 31** Antica mappa delle isole Marshall realizzata con fibre di Palma e conchiglie.



Diversi sono i popoli della terra che si sono cimentati nella riproduzione di carte dei luoghi, vari metodi di costruzione sono stati utilizzati anche con materiale povero che ciascuno aveva a disposizione; gli antichi popoli turchi hanno utilizzato un muro di pietra, successivamente in mesopotamia si usava tavole di argilla, nelle isole Marshall, come da fig. 31, per indicare le isole e le rotte e le correnti marine, fibre di palme e conchiglie, altri popoli utilizzavano il legno, anche se abbiamo pochi ritrovamenti, in ossa e pelli, sino a poi cominciare a utilizzare la carta pergamena. Nelle caverne di *Schafthausen* sono state trovate delle tavolette di osso dove possiamo vedere rappresentato una rete di linee, ma è difficile stabilire che si tratti di vere e proprie mappe. Molto più comuni sono le rappresentazioni tramite la *corteccia d'albero*. Molto usata è stata la corteccia di betulla in Siberia, tra gli indiani del Nord America e gli Esquimesi. Gli Eschimesi usavano intagliare dei bastoni per rappresentare delle linee di costa, vedere fig. 32.



**Figura 32 Bastone intagliato Esquimese per rappresentare una linea di costa**

Anche le culture mesoamericane disegnavano delle mappe, ai tempi dell'invasione europea molti indiani benché non sapessero leggere, riuscivano ad identificare molti luoghi attraverso mappe, a tal punto che i conquistadores poterono utilizzarle. Queste mappe erano dipinte su materiale estratto da fibre di agave, o su stoffa, altre su corteccia di fico o su pelli trattate. Nota negativa a testimoniare la responsabilità della stupidità europea, quasi tutte queste mappe andarono distrutte a causa dell'intolleranza religiosa di alcuni missionari, come **De Landa**. Soltanto due carte pre-colombiane, casualmente sono state risparmiate da tale furia cieca devastatrice.

### 4.3) La cartografia: le prime rappresentazioni del mondo

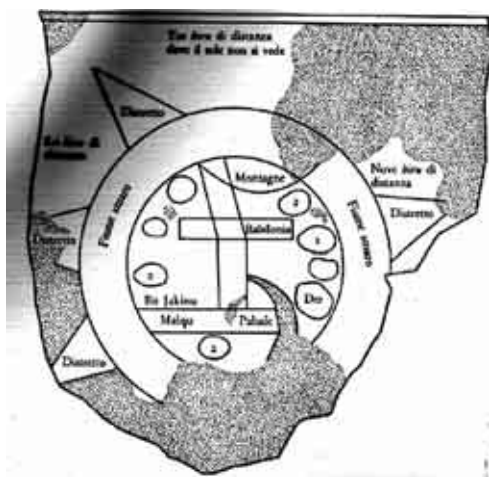
La cartografia e la geografia della terra, in antichità erano strettamente legate all'astronomia. Il modello di Universo antico influenzava inevitabilmente l'interpretazione geografica e quindi la cartografia. Ed ecco che i primi astronomi erano non solo astrologi ma anche geografi. Probabilmente ha sicuramente inciso il fatto che il ventaglio di conoscenze era parziale su tutti gli argomenti e pertanto le singole materie erano legate da un unico modello di interpretazione. Non avendo a disposizione la tecnologia di oggi qualsiasi cosa era conosciuta superficialmente e più che trattare gli argomenti dal punto di vista oggettivo scientifico, si affrontavano con ragionamenti filosofici e religiosi. Le antiche supposizioni sulla cosmologia del mondo degli antichi greci possono essere derivate dalle popolazioni mesopotamiche, in particolare dai Babilonesi. E' stata ritrovata una tavoletta cuneiforme proveniente da una regione Babilonese, *Uruk*, databile attorno al 400-600 a.c., sul cui lato è presente la seguente scritta: "secondo la vecchia tavoletta". **Afetinan** ritiene sia la copia di una precedente databile al VII secolo a.C., ma altri ritengono che la sua rappresentazione si dati attorno al IX-VIII sec. a.c. Vi è rappresentata graficamente l'intera

superficie terrestre, nei limiti delle conoscenze dell'epoca, secondo le prime concezioni cosmologiche: la terra è posta nel centro del mondo, è circolare e circondata dal fiume oceano che funge da confine con il cielo.



**Figura 33** Prima rappresentazione di un mappamondo terrestre. Tavoletta Babilonese del 400/600 a.C.

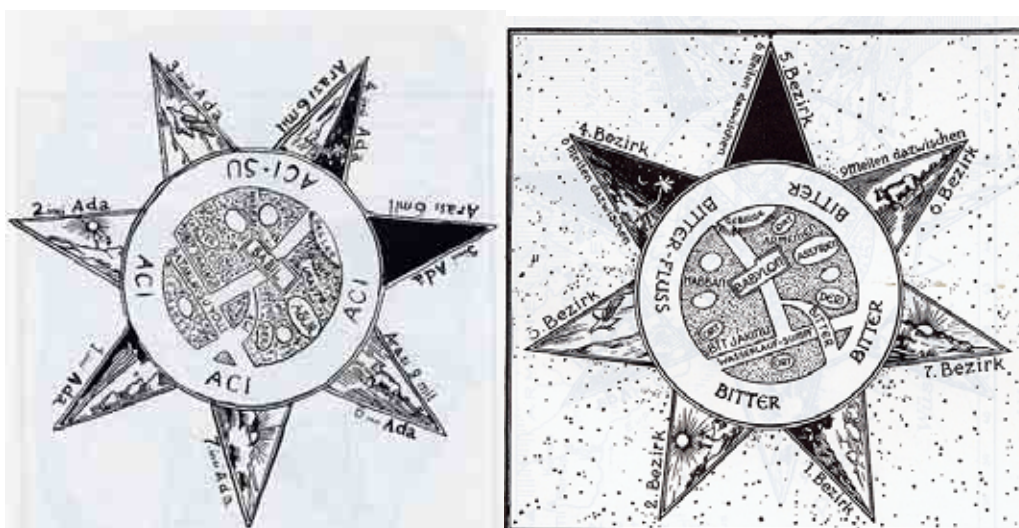
Vi sono evidenziate una serie di città come Babilonia, Der Susa, ed altre, paesi stranieri come l'Assiria, Uratru, strutture geotopografiche del territorio come montagna, palude, canale, città, vedi fig. 33. La città di Babilonia è rappresentata vicino al centro del mondo come un rettangolo posta a cavallo delle rive destra e sinistra dell'Eufrate con una linea verticale.



**Figura 34** Carta babilonese nell'interpretazione tratto dal libro "Civiltà Sepolte"

Si può notare una prima rappresentazione del mondo come circondato dalle acque, modello ripreso successivamente dai primi greci. Oltre l'oceano sono disegnate zone triangolari, disposti a stella e

definite come distretto, regione. Molto probabilmente alludono a isole o regioni remote, situate oltre il mondo conosciuto. Tra le varie zone esterne, vi sono spazi vuoti, privi di segni grafici o scritte che rappresentano l'ignoto. Da una interpretazione del libro "Civiltà Sepolte" di **C.W.Ceram**, vedere fig. 34, il fiume amaro che circonda il mondo è la massa d'acqua principale, l'oceano o il mare e la pioggia, 1) è l'Assiria, 2) sono le indicazioni di città. Il "biru" è una unità di misura stradale. Nella fig. 35 si possono vedere una traduzione tedesca da **E.Unger-Babylon**, 1931, e una turca secondo la quale pare esservi una connessione con la leggenda di **Gilgamesh**.



**Figura 35 Traduzione Tedesca e Turca della mappa Babilonese**

L'interpretazione dei vari disegni è la seguente: la corona circolare è l'oceano, i triangoli isosceli rappresentano regioni o isole remote, la sagoma rettangolare la città di Babilonia, il profilo ovoidale dell'occhio di bue le montagne del Nord, due linee parallele il corso dell'Eufrate, ed i vari cerchietti disposti a raggiera entro il limite dell'oceano rappresentano città e paesi vari.

#### **4.4) La più antica cartina Occidentale: la mappa di Soletto**

Il 21 Agosto del 2003, a Soletto in provincia di Lecce nella regione Puglia, durante uno scavo guidato dall'archeologo belga Thierry Van Compermolle, della Montpellier University, è stata trovata quella che possiamo definire la più antica carta geografica del mondo occidentale, vedi fig. 36. La carta, soprannominata la mappa di Soletto, raffigura la parte meridionale della penisola del Salento. La riproduzione della regione è immortalata su di un piccolo coccio di terracotta smaltata di nero delle dimensioni di 5 x 2,7 cm. Vi troviamo rappresentata la parte finale della Puglia, il tallone dell'Italia, allora denominata Apulia o "Capo Iapigio". La mappa essendo stata datata al 500 a.C. ha più di 2500 anni. I luoghi sono riconoscibili con dei punti e da incisioni dei nomi. I mari sono rappresentati tutti come delle linee a zig e zag. Troviamo il mare di Taranto (Taras) in greco e nella lingua locale, Messapiano, la lingua della Messapia (terra di mezzo, tra il mondo greco e gli Itali, l'antica penisola Salentina), sono indicati il mare Ionio e l'Adriatico. Sempre in messapiano, sono presenti 13 località di cui alcune ancora oggi esistenti come: Otranto, Nardò, Soletto, Ugento e

Leuca. Questa mappa costituisce la prova che i greci tracciavano mappe di luoghi reali prima dei Romani.



**Figura 36**    **Mappa di Soletto**

#### **4.5) I Peripli**

A un certo momento la civiltà umana ha cominciato ad intrattenere rapporti commerciali non più limitati al proprio territorio, ma ha allargato gli scambi di prodotti a zone molto lontane. I tempi necessari al trasporto di materia prima e lavorata diventano sempre più elevati. Per via terra i riferimenti non mancano e con il tempo si formano dei percorsi, e lungo i percorsi delle città, pertanto ritrovare la strada è solo un problema di lingua. Quando l'uomo è riuscito a domare il mare con la navigazione, è stata un'enorme conquista, grazie al nuovo mezzo di trasporto, gli scambi commerciali potevano avvenire più in fretta, non era più necessario scalare montagne, né seguire lunghi e articolati percorsi per saltare un mare. E' molto probabile che l'uomo abbia cominciato a costruire navi già molti millenni fa, dato che sono state trovate navi egizie molto antiche. All'inizio le varie tecniche e conoscenze si sono tramandate oralmente, poi successivamente grazie alla scrittura, le varie esperienze sono state immortalate per sempre. La cartografia è uno di questi tentativi di trasmettere l'esperienza acquisita. Gli antichi greci hanno inaugurato la geografia non come oggi la conosciamo, ma concepita a fini prettamente culturali, insieme a qualche disegno di rotta venivano integrati con una raccolta di informazioni. Le prime carte geografiche partono come dei racconti di viaggio effettuati, raccolti in libri che spiegano le coste: i "*Peripli*". Lo scopo era lo stesso delle "*Portolane*" moderne, ma non erano vere e proprie carte nautiche. I peripli contenevano sia informazioni nautiche che culturali. Erano resoconti di viaggio, simili ad un diario di bordo, dove tramite un racconto, venivano descritte nei minimi dettagli: le linee di costa, la posizione delle foci dei fiumi, dei promontori, degli approdi, porti, sorgenti, rotte, distanze, gli usi e costumi dei diversi popoli incontrati, informazioni storiche, informazioni economiche delle regioni. L'unità di misura delle distanze era semplicemente il giorno di navigazione. I *peripli*, erano così importanti nella cultura del popolo greco, che anche gli Dei, nelle leggende, per spostarsi da un luogo all'altro, non potevano farne a meno. Molte informazioni erano basate su esperienze dirette, altre desunte da opere precedenti, altre erano frutto in parte di ricerche; tali documenti si accrescevano nel tempo sommando più fonti. Per "*Periplo*" in navigazione si intende anche una navigazione intorno ad un'isola, a un continente, una circumnavigazione e difatti ogni resoconto di viaggio cercava di illustrare una rotta completa. Fra i documenti più antichi abbiamo il "*Periplo di Annone*", di un navigatore massaliota, della città di Massalia, (odierna Marsiglia), del ~ 525 a.C., citata dal poeta e geografo latino **Rufo Festo Avièno** (IV secolo d.C., Volsinii). Descrive un viaggio attorno alla costa atlantica della Spagna dell'Africa occidentale con accenni alla Britannia e all'Irlanda.



Altri Peripli famosi sono:

- Il "*Periplo di Scilace di Carianda*" del IV sec a.C., resoconto di viaggio di un Periplo nel Mediterraneo e nel mar nero di **Carianda** ma attribuito a **Scilace**.
- Il "*Periplo Stadiasmus Maris Magni*" forse del IV secolo a.C., anonimo, resoconto di viaggio attorno al Maris Magni, ovvero al nostro Mediterraneo.
- Il "*Periplo di Pitea*" del IV secolo a.C., citato da **Strabone** (Amasia, Asia minore 64/63 a.C - Amasia 25 d.C.). Resoconto di viaggio lungo le coste atlantiche dell'intero periplo della Gran Bretagna del navigatore della città di Massalia.
- Il "*Periplo di Nearco*" del 326-324 a.C., ammiraglio di **Alessandro**, è un resoconto di viaggio dall'Indo al Tigri, lungo il Golfo Persico.
- Il "*Periplo del Mare Eritreo*" del I° sec d.C, di provenienza anonima descrive le rotte costiere dall'Egitto all'India, Lungo l'Africa Orientale.

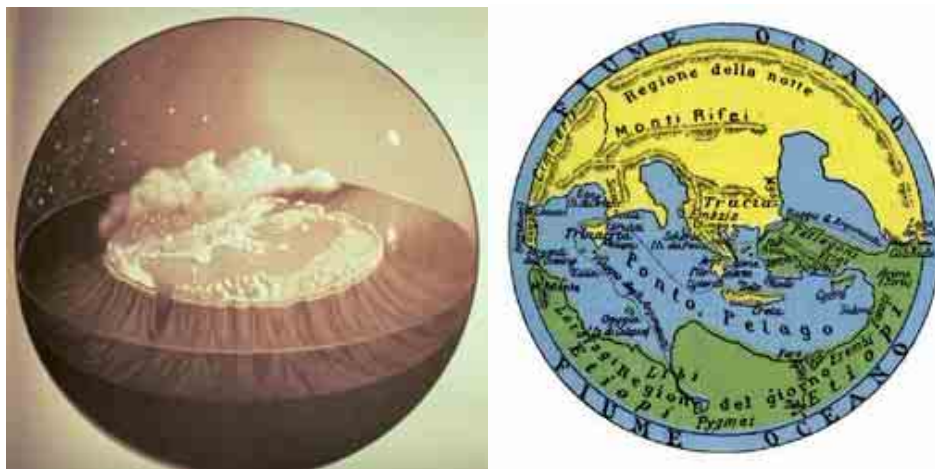
In modo simile ad una descrizione di un Periplo può essere considerato il poema di **Omero**, vi sono descritte delle rotte e inoltre dimostra come al tempo dei greci la navigazione astronomica era ben conosciuta. Nel versetto 270-277 dell'odissea **Calipso** descrive la navigazione di Ulisse dall'isola di Ogiogia a quella dei Feaci : "*Il nocchiero avrebbe dovuto mantenere le Pleiadi a destra e Boote a sinistra. Mentre l'orsa sarebbe dovuta rimanere sempre a sinistra*". La rotta da seguire era da Sud-Ovest a Nord-Est, e pertanto le costellazioni erano già conosciute ed ampiamente utilizzate per la navigazione.

#### 4.6) La Prima Cartografia Greca

Nella fig. 37, troviamo una ricostruzione della raffigurazione della terra e dell'Universo, come veniva immaginato dagli antichi greci ricavata dai poemi di **Omero**. Di **Omero** non sappiamo esattamente l'esatta collocazione temporale: prendendo come riferimento l'VIII° secolo a.C., questo modello può essere ascritto a questo periodo o precedente. Seguendo le teorie della tavoletta babilonese la terra doveva essere piana, circolare e poco estesa, circondata da un'enorme Oceano dove si eleva la volta celeste, un limite solido dell'Universo dove erano poste le stelle. Come i Babilonesi avevano centrato il mondo nelle proprie zone, ovviamente per gli ellenici, per campanilismo, era la Grecia. In pratica, Atene, diventa il centro dell'Universo. Secondo questa concezione cosmica sotto la superficie terrestre si trovava la "*dimora dell'ade*", il regno della morte, ovvero l'inferno. Ancora più in basso era posto il "*Tartaro*" il regno dell'oscurità. Rispetto alle carte moderne che cercano solo di rappresentare il territorio della terra, per gli antichi, la descrizione di queste prime mappe è legata alla rappresentazione dell'Universo, ed alcuni studiosi inseriscono lo "*scudo di Achille*", descritto da **Omero** nell'Iliade, come la prima rappresentazione greca cartografica-cosmologica. Dal passo del libro XXVIII dell'Iliade di **Omero**, versi 671/679-842: "*Cinque dell'ampio scudo eran le zone / gl'intervalli che, con divin sapere, / d'ammiranda scultura avea ripieni. / Ivi ei fece la Terra, il mare, il cielo / e il Sole infaticabile, e la tonda / Luna, e gli astri diversi onde sfavilla / incoronata la celeste volta, / e le Pleiadi, e l'Iadi, e la stella / d'Orion tempestosa, e la grand'Orsa / che pur Plaustro si noma. Intorno al polo / ella si gira ed Orion riguarda, / dai lavacri del mar sola divisa. / [ . . ] / Il gran fiume Ocean l'orlo chiudea / dell'ammirando scudo*". Secondo il racconto lo "*scudo di Achille*" fu fatto forgiare dalla madre **Teti** dal fabbro divino **Efesto** (divinità greca corrispondente al dio Vulcano romano), il quale lo aveva realizzato su 3 strati di metallo dove al centro vi erano rappresentate delle scene di vita terrestre della società dell'epoca, con due città. Il disco rappresenterebbe su 5 zone, le conoscenze cosmologiche dell'epoca. Vi sarebbero la Terra, il mare, il cielo, il Sole, la Luna piena, alcune stelle e costellazioni: l'Orsa Maggiore, Orione, le Pleiadi, le Iadi. In sintonia con il modello di fig. 37,



attorno allo scudo è raffigurato il fiume Oceano, che, come pensavano gli antichi, circondava la terra e quindi l'Universo.



**Figura 37 Riproduzione di Omero del mondo greco del 900 a.C.**

Lo "scudo di Achille" e il fiume oceano è rammentato anche in un poema di **Esiodo**: "L'oceano sembrava ondeggiare intorno a questi scudi." Curiosa è la somiglianza dello scudo di Achille con il "disco di Nebra", in bronzo, a dimostrare una possibile origine nordica del popolo ellenico, ritrovato in un villaggio ad Ovest di Lipsia nella Germania orientale, datato al 1600 a.C. dove sono riportati gli astri citati dal poema di **Omero**. Nell'antica Grecia, la prima rappresentazione disegnata, si deve ad **Anassimandro di Mileto** filosofo ionico vissuto a Mileto, tra il 610 e il 546 a.C, discepolo di **Talete di Mileto** (ca. 626-548 a.C.), padre dell'infinito aperion e degli infiniti mondi (vedere fig. 38).



Anaximander's Map of the World

**Figura 38 Ricostruzione della Carta di Anassimandro VI Sec. A.C.**

Introducendo la cartografia, viene considerato il fondatore della geografia scientifica. Le terre non vengono più raccontate ma disegnate, e si cerca una rappresentazione geometricamente il più fedele possibile. **Anassimandro** inaugura un periodo di crescita della cartografia costruendo la prima carta

geografica della terra, il primo Ecumene conosciuto al mondo. L'etimologia della parola "*ecumene*" deriva dalla parola greca "*oikomene*" che significa abitato ed infatti lo scopo è quello di rappresentare il mondo abitato, e non più una semplice linea di costa. Le carte moderne vanno oltre tale schema, rappresentano anche i poli terrestri anche se non sono abitati. Benché mantenga il modello precedente che rappresenta una terra piana e circolare, ritenendo che la terra fosse cilindrica con l'asse orientato nel senso levante-ponente, Anassimandro contrasta il modello del suo maestro **Talete** il quale affermava che la Terra galleggiasse sull'acqua e che tutta la materia derivasse dall'acqua, dal fiume Oceano. Anassimandro porta avanti un'affermazione innovativa, estremamente moderna, cioè che la terra galleggia nello spazio senza bisogno di alcun sostegno, la massa d'acqua di un indefinito oceano circonderebbe comunque la terra seguito da una serie di sfere concentriche sulla superficie delle quali si trovano in ordine di distanza: le stelle, La Luna, il Sole e all'infinito, il fuoco, l'elemento primigenio dell'Universo e dell'energia. Un modello conforme allo scudo di **Achille** di **Omero**. In base alle informazioni raccolte, disegna le terre abitate in modo molto approssimativo, ma purtroppo nessuna sua cartina è sopravvissuta e né **Erodoto** né **Aristotele** ne danno notizia.



**Figura 39 Ecumene di Ecateo ~ 500 a.C.**

Secondo il commentatore del secolo III d.C, **Diogene Laerzio**, **Anassimandro** fu il primo a tracciare uno schema (*perimetron*) del mondo, e pure il primo a costruire un globo. **Anassimandro** inoltre ha fornito un contributo all'astronomia inventando lo *gnomone*, uno strumento scientifico che consente di determinare gli equinozi e i solstizi. Il suo lavoro verrà portato avanti dal discepolo **Ecateo di Mileto** (550-480 a.C.), il quale ne perfeziona la rappresentazione integrandola con la descrizione di tutti i popoli conosciuti, vedere fig. 39. Da cui la derivazione del termine di geografia che difatti è l'unione della carta della terra con la sua descrizione. A commento della sua carta, scrisse la "*Periegesi*" (viaggio intorno al mondo) prima opera geografica greca in Prosa, di cui ci sono pervenuti circa 300 frammenti, una guida delle zone costiere del Mediterraneo. Un'altra famosa carta è quella del greco **Erodoto di Alicarnasso** (440-425 a.C.) il quale disegna il suo ecumene, con maggiore dettaglio rispetto a chi lo aveva preceduto, vedi fig. 40. Le sue descrizioni furono possibili dato che era stato un grande viaggiatore ed ha ricostruito le sue conoscenze geografiche attraverso l'esperienza personale e tramite il passaggio di informazioni da osservatori conosciuti direttamente nei suoi viaggi. Si ritiene che pur conoscendo la teoria di una terra sferica, per semplificazione abbia continuato a rappresentarla piatta. Nei suoi scritti disprezza alcuni luoghi comuni dei contemporanei geografi che rappresentavano ancora il fiume oceano perfettamente circolare come se fosse tracciato con compasso con dimensionamenti non corretti di varie parte del

mondo. Ed è probabile che ritenesse ridicolo il concetto greco antico, espresso successivamente da **Strabone**, che la geografia è una scienza derivata dalla filosofia.



**Figura 40 Ecumene di Erodoto.**

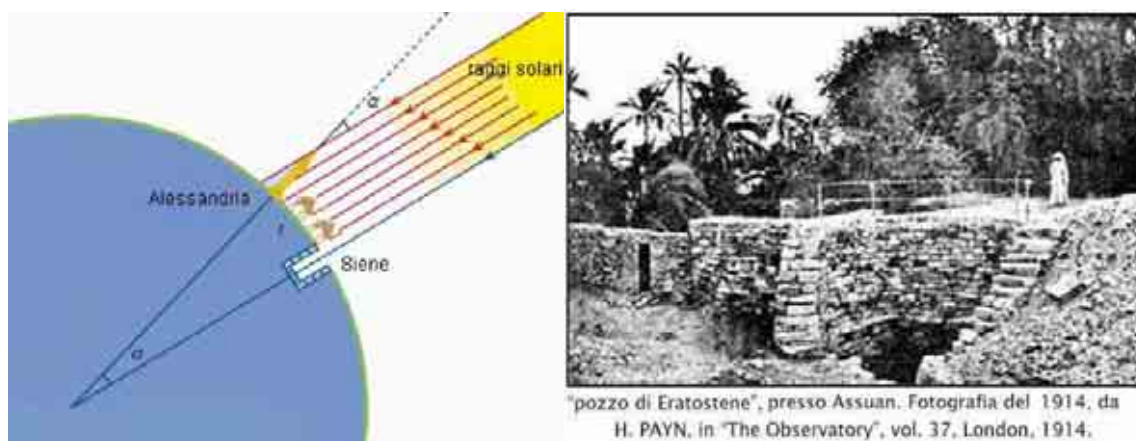
La sua geografia in alcune parti risulta più precisa, per esempio mette in ridicolo la rappresentazione dei 4 golfi (Caspio, Arabico, Persico, Mediterraneo), il mar Caspio lo ritiene un mare chiuso e non un golfo davanti al fiume oceano. L'Africa sarebbe circondata dal mare, esperienza ricavata da una circumnavigazione effettuata dai fenici per ordine del faraone **Necho** circa nel 596-594 a.C.. Un passo avanti non da poco se consideriamo che 500 anni dopo, **Tolomeo** disegna la punta dell'Africa unita all'Asia a chiudere l'oceano indiano. Da **Erodoto** conosciamo un evento curioso storico legato alla cartografia avvenuto nel 499-498 a.C.: il sovrano **Aristagora di Mileto** mostrando una mappa metallica, che probabilmente doveva rappresentare parte del medio oriente, con l'Iran e l'Armenia, convince gli spartani a intraprendere una guerra contro i Persiani.

#### **4.7) La Prime forme della Terra**

Erano in molti a ritenere che la terra era piatta e diversi erano anche i modelli, ad esempio **Aristotele**, ci racconta che **Anassimene di Mileto**, nel VI secolo a.C., pensava al mondo come un rettangolo terrestre, fatto di terra e di acqua, e contornato dalla cornice dell'Oceano, che navigava su una sorta di cuscino di aria compressa che schiacciava la terra. Il suo mondo sarebbe stato comunque molto simile a quelli precedenti, limitato al Mediterraneo, dalle colonne d'Ercole alla Colchide. La cartografia eseguirà un altro passo avanti solo dopo che verrà cambiata la geometria del mondo, la rappresentazione della terra non può essere fedele se non accettiamo le deformazioni della curvatura terrestre. Vi era anche un elevato numero di filosofi che ritenevano che la terra fosse sferica, da **Archimede**, **Aristarco di Samo**, **Aristotele**, **Eraclide**, **Eratostene**, **Euclide**, **Eudosso**, **Parmenide**, **Platone**, **Pitagora**, **Talete**, **Tolomeo**. Pare che il primo fu **Pitagora di Samo**, nel V° secolo a.C., il quale giunse al riconoscimento della sfericità della terra basandosi sull'osservazione che l'orizzonte è curvo e che, quando una nave si allontana dalla riva, ne sparisce dietro l'orizzonte prima lo scafo, poi gli alberi e le vele. **Eratostene** arrivò a misurarne perfino il raggio e anche con buona precisione, ma fu solo attorno al 350 a.C. grazie ad **Aristotele**, quando espose 6 argomenti a prova della sua sfericità, che la teoria fu accademicamente accettata.

## 4.8) La Misura del Meridiano

Abbandonata la teoria della Terra piatta per quella sferica, il nostro pianeta doveva avere un raggio, e di conseguenza gli antichi greci hanno eseguito numerosi tentativi per misurarlo. Il problema fu affrontato da un punto di vista geometrico: se si era in grado di misurare la distanza di un arco di meridiano, conosciuto il suo angolo, si poteva estrapolare la sua circonferenza tramite una semplice proporzione. Il primo a cimentarsi in tale impresa è stato **Eudosso di Cnido** (409-356 a.C.) il quale trovò una lunghezza pari a circa 74.000 Km, più elevata, quasi doppia rispetto alla lunghezza reale di 40.009 Km. **Dicearco da Messina**, allievo di Aristotele ( $\approx$  347- 285 a.C.) misurerà 55.000 Km avvicinandosi maggiormente a quello reale, ma sempre troppo elevata. Il tentativo di misura di cui abbiamo notizie più sicure, e che condusse a un risultato molto più preciso, fu quello di **Eratostene di Cirene** ( $\approx$  276 - 194 a.C.), l'inventore della parola geografia, direttore della celebre biblioteca di Alessandria. Su tale esperienza, Eratostene, aveva scritto un libro: "*Sulla misura della Terra*". Tale libro è andato perduto ma comunque attraverso vari autori come Cleomede, Strabone, Teone di Smirne, Tolomeo, si conoscono i vari dettagli sul metodo. La misura fu effettuata attorno al 250 a.C., e il metodo doveva essere simile a quelli che lo hanno preceduto. Come evidenziato dalla fig. 41, Eratostene si era accorto che al pozzo di **Siene**, moderna Assuan, nel giorno del solstizio d'estate (21 Giugno) a mezzogiorno il sole si trova esattamente allo zenit. Questo è possibile perché la località si trova circa al tropico del Cancro ( $23^{\circ} 7' N$ ). In tale posizione il sole entra esattamente dentro il pozzo non formando alcuna ombra. Questo per Eratostene diventa un punto di riferimento certo e senza errore, per poter determinare l'angolo di inclinazione dei raggi solari ad Alessandria. Dato che i raggi del Sole pervengono da una distanza di 150 milioni di Km, questi raggiungono la terra praticamente dalla stessa direzione, e pertanto si presentano paralleli. Ne consegue che l'inclinazione dei raggi solari ad Alessandria, riflette l'angolo dell'arco della Terra tra Alessandria e Siene.



**Figura 41 Metodo di misura della lunghezza del meridiano da parte di Eratostene**

Automaticamente fornisce la distanza fra i due luoghi in termini di Latitudine. Eratostene riteneva che le due città fossero esattamente alla stessa longitudine, ma in realtà Alessandria si trova un po' più ad ovest di Syene (una differenza di soli circa  $3^{\circ}$ ), comportando comunque solo un minimo errore. La misura dell'angolo ad Alessandria venne effettuata tramite la lunghezza dell'ombra di un tipo di meridiana collocata su di una semisfera chiamata **scafio**, rilevando un arco pari a circa  $1/50$

(7°,2) di angolo giro. Tramite un semplice ragionamento trigonometrico si può estrapolare la lunghezza del meridiano e, conoscendo il rapporto tra l'angolo e la distanza tra Siene e Alessandria, si rapporta all'angolo giro e alla circonferenza del meridiano. Eratostene sapeva che la distanza tra Siene e Alessandria era stata valutata, forse con corde metriche dagli agrimensori egizi o a passi di cammello (15 km al giorno nel deserto) in circa 5000 stadi ( $\approx 800$  Km), quindi moltiplicandola per il rapporto d'arco con l'angolo giro (50) ricavò un valore attorno ai 250.000 stadi (circa 40.000 Km), che arrotondò a 252.000 stadi per consentire la divisibilità per 60. Di conseguenza il raggio terrestre doveva essere di circa 40.107 stadi. Disegnando la prima carta in scala, prendendo come riferimento il parallelo di Rodi, dalle colonne d'Ercole alla Corea, ritiene il mondo abitato per 70.000 stadi coprendo un'estensione di 140° di longitudine, portando a 220° l'estensione della terra ignota o occupata dall'oceano. In latitudine disegna circa 38.000 stadi, dalla terra delle spezie (Somalia-Etiopia) all'isola di Thule (probabile Islanda), un'estensione pari a circa 54° di meridiano lasciando 306° alla terra incognita o circondata dall'oceano. Dato che riteneva la terra essere sferica, doveva essere cosciente che con il suo Ecumene aveva rappresentato solo circa il 12% della superficie del pianeta. Non conosciamo però con esattezza la vera misura relativa dello stadio, quindi da alcune stime la misura del meridiano sarebbe compresa tra 39.300 e 41.675 Km. Ma altre valutazioni fanno oscillare l'incertezza a valori ben più elevati: 1 stadio sarebbe compreso tra 154 metri ai 215 metri, corrispondenti tra 38.500 km e 53750 Km. Comunque in media vicino ai 40.000 Km stabilito dalle misure moderne. Molte valutazioni si calibrano per un valore di 157,5 metri assestandolo ad un valore molto vicino alla circonferenza terrestre. Dato che le precisioni di qualsiasi misura non erano eccellenti, la misura può ritenersi a questo punto molto fortunata, ma quello che lascia ben non pochi dubbi è che Eratostene usa valori approssimati, una misura con troppi zeri consecutivi non può altro che lasciare pensare che abbia voluto semplificare i calcoli di proposito. Comunque sia andata rimane il fatto che il metodo era corretto. Grazie a tale misura applicando gli stessi ragionamenti dell'astronomo e matematico greco **Aristarco di Samo** (310-230 a.C.), ottiene anche le stime più precise delle distanze tra Terra-Luna (780.000 stadi = 123.000 Km contro i 384.000 Km reali) e Terra-Sole (804.000.000 stadi = 126 Milioni di Km contro 149,6 Milioni di Km reali). Da studiosi latini come **Marco Vitruvio Pollione** (Roma, I° secolo a.C.), **Plinio il Vecchio** (Como 23/24 d.C. - Stabia 79 d.C.) e **Marziano Capella** (Minneo Felice del V° sec. d.C.), sappiamo che vi furono altre misure che corressero il valore della lunghezza del meridiano terrestre portandolo a circa 39.700 chilometri. In particolare il re egiziano Tolomeo incaricò un gruppo di astronomi (*mensores regios Ptolomaei*) di effettuare questa misura. Ma successivamente vi furono anche misure che peggiorarono la precisione, come quella di **Posidonio di Rodi** (150-130 a.C.), talvolta chiamato di **Apamea** dal nome della località della Siria in cui nacque, giungendo ad un risultato erroneo ed inferiore di 1/3 a quello di Eratostene.

## 4.9) La geografia di Alessandro

**Alessandro Magno** (Pella 356 a.C. - Babilonia 10 Giugno 323 a.C.), Macedone, conosciuto anche come Alessandro il grande, ebbe il merito di unificare il mondo ellenico con quello indio-asiatico. La sua educazione fu affidata ad Aristotele, a cui rimase legato da una grande amicizia per tutta la vita. Si è distinto per essere stato un valido condottiero che riuscì a guidare l'esercito greco alla conquista di territori molto distanti dal Mediterraneo. Grazie ai vari successi in diverse zone della terra, la sua fama è diventata così elevata da essere ritenuto tra i più grandi strateghi e fra i più importati comandanti militari del mondo antico. Pur non essendo uno scienziato e neanche un geografo, le sue imprese permisero di accrescere la descrizione delle terre; le mappe geografiche occidentali si integrarono con i racconti dei viaggi effettuate durante le campagne di guerra. Dato



che arrivò sino in India, ne consegue che le varie carte, da allora, presentano molti particolari delle regioni asiatiche, descrizioni di cui beneficiò anche Eratostene.

#### 4.10) Le prime coordinate

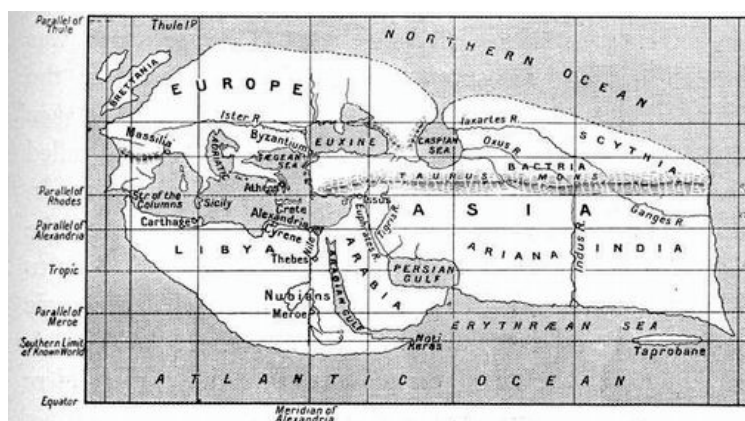
Senza una griglia di coordinate, dalle mappe, non si riescono a determinare le distanze reciproche fra i vari luoghi. I primi riferimenti geografici si devono agli architetti egiziani, i quali per riportare in più grande scala un disegno su una parete, lo riferivano ad un reticolato a maglie quadrate disegnando delle carte simili a quelle di tipo catastale.



**Figura 42 Carta di Dicaarco di Messene con prime Coordinate**

Gli agrimensori egizi o "tenditori di corde", dopo le periodiche inondazioni del Nilo, erano così in grado di ricostruire sul terreno i limiti dei poderi. Ma l'evoluzione di un metodo che porta alla moderna applicazione, deriva dai geografi ellenici. Il primo a riportare delle novità in tal senso è **Dicaarco di Messene** (347 - 285 a.C.) il quale, attorno al 300 a.C., in una rappresentazione cartografica dell'ecumene, fig. 42, introduce una linea longitudinale, dalle colonne d'Ercole (Gibilterra) attraverso il Mediterraneo passante per Rodi fino all'Asia Minore al Caucaso Indiano, ed una linea a questa perpendicolare, passante per Siene e Lisimachia (città sull'istmo del Chersoneso in Tracia). Le due linee essendo suddivise in stadi, potevano fornire le distanze reciproche fra tutti i luoghi rappresentati. I principi di costruzione di tale linee durarono per molti secoli e fecero da base di sviluppo per i successivi cartografi. Seguendo le orme di Dicaarco, **Eratostene**, introdusse definitivamente un reticolato, una griglia, vedere fig. 43. Come base di riferimento aveva scelto l'isola di Rodi. La linea di latitudine zero era passante per Rodi e le Colonne di Ercole (l'attuale Gibilterra) a circa 36° Nord. La scelta di tale linea non era casuale, divideva il mondo conosciuto in due parti quasi perfettamente uguali. E sempre per Rodi passava la linea di longitudine zero, una linea Nord-Sud. Nessuna copia di questa carta è giunta sino a noi, ma ne conosciamo il lavoro per mezzo dell'opera del 23 a.C. la "Geografica" di **Strabone**. Rispetto a Dicaarco, Eratostene non disegna solo due linee di riferimento ma una vera e propria griglia composta da 9 linee di paralleli e 11 meridiani. Dato che le linee non erano equidistanti, la scelta non era di natura geometrica, ma probabilmente di natura politica. Infatti questo aspetto gli fu contestato da **Ipparco** (190-125 a.C.), criticandole come arbitrarie e non puramente matematiche.

Eratostene descrive, tale rappresentazione della terra, nel terzo libro dell'opera "*Geografia*" composta in 3 libri, dove nel primo espone una storia della materia, nel secondo volume troviamo la teoria della terra suddivisa in 5 zone climatiche. **Ipparco**, considerato fra i più grandi astronomi di tutti i tempi, che non risulta abbia mai disegnato mappe terrestri, fornì ugualmente un utile contributo alla cartografia, infatti ha il merito di avere introdotto le **coordinate geografiche** di *Latitudine e Longitudine*, ed è il primo greco a fornire un elenco di luoghi corredato di tali coordinate applicando la stessa esperienza realizza un atlante stellare contenente 1000 stelle indicando le coordinate celesti.



**Figura 43 Griglia di Eratostene**

A dimostrazione di come la disciplina della geografia è legata all'astronomia, fece importanti osservazioni astronomiche che lo portarono a definire ben 11 paralleli terrestri. Le sue conoscenze geografiche sono evidenti attraverso una sua descrizione (tramandata attraverso un'opera di **Strabone**), di come attraverso il *meridiano di Meroe*, percorrendo tutti i 90 paralleli situati tra l'equatore e il polo disposti nel nostro quarto della terra, separati di 700 stadi come calcolato da Eratostene, si possono osservare differenze della posizione degli astri sulla volta celeste.

#### **4.11) La distribuzione e nuova dimensione della Terra**

Di pari passo all'aumento delle informazioni sulla geografia dell'ecumene si portavano avanti le idee su come fossero distribuite le terre emerse. Il geografo **Cratete di Mallos** (210-150 a.C.), attorno al 170 a.C. per simulare il globo terrestre, costruì una sfera di grandi dimensioni con raggio stimato di Eratostene, ma dato che era evidente che la superficie del mondo conosciuto rappresentato era decisamente piccola e appariva sbilanciata, inserì altre 3 terre, inventando il modello a 4 mondi abitati, simmetrici, separati da oceani. Pertanto si poteva pensare all'esistenza di continenti sconosciuti, come se si sentisse la mancanza dell'America e dell'Australia per motivi puramente filosofici, di simmetria geometrica. La sfera, simbolo della perfezione, probabilmente non poteva contenere sulla sua superficie una distribuzione di terre imperfetta e casuale, un solo ecumene con troppa estensione di un oceano non sembrava avere una logica geometrica, la terra doveva essere riequilibrata. Questo modello ebbe molto successo e fu ripreso dallo scrittore latino **Ambrogio Teodosio Macrobio** (IV-V secolo d.C.) nel commento al "*Somnium Scipionis*" di Cicerone, fino a trovare molta attenzione nel medioevo. Grazie a tale rappresentazione nasce il concetto di *antipode*, ovvero come la terra opposta all'ecumene conosciuto. La parola Antipode è composta da "anti",

contro, e podus piede, con il significato che gli abitanti del globo che vivono in parti della terra diametralmente opposta, hanno i piedi contro piedi. In questo periodo si speculava se grazie a tale sfericità si sarebbe potuto attraversare l'atlantico, abbattere le colonne d'Ercole, e in questo gioco si inserisce anche **Posidonio** (135 - 51 a.C. ca.) il quale identificando un nuovo metodo per la misura della circonferenza della Terra, ne riduce le sue dimensioni (180.000 stadi) di 1/3 rispetto ad Eratostene e lo porta ad avanzare l'affermazione che se si partisse dall'occidente attraversando l'atlantico si arriverebbe alle indie dopo 70.000 stadi, anticipando in tal modo Colombo di 1600 anni. Per valutare il raggio della terra, attorno al 100 a.C. esegue una misura astronomica diversa da Eratostene. Il metodo è in base alla *altezza della stella Canopo* sulla sfera celeste, la quale, mentre a Rodi sfiora l'orizzonte, è ben visibile ad Alessandria. Posidonio pensa di aver trovato un metodo più accurato di Eratostene ma in realtà non sa che la posizione della stella all'orizzonte è alterata dalla *rifrazione atmosferica*, dai 7° 30' osservata, in realtà era di 5° 15'. Commette inoltre altri due errori: la distanza fra Rodi e Alessandria è sopravvalutata in 5000 stadi, e le due città non si trovano sulla stessa longitudine. Questa misura si riteneva essere più valida, e comportò una valutazione del raggio della Terra più piccolo. In pratica le *distanze in longitudine* ricavate da misure terrestri portano ad una sopravvalutazione dell'estensione angolare in relazione alla superficie terrestre. Un errore che ebbe un potere di propagazione non indifferente, dato che perfino Colombo, 1600 anni dopo, ne fu vittima: quando arrivò in America pensava di aver toccato l'Asia. Posidonio è conosciuto anche per aver disegnato un ecumene a forma lenticolare e per avere criticato la suddivisione in 5 climi della terra per sostenere l'introduzione di riferimenti astronomici come i circoli polari e i circoli tropicali.

#### 4.12) Le prime proiezioni

Tutte le carte affrontate sino ad ora, oltre ad essere imprecise a causa degli errori sulle rilevazioni, essendo piane presentano anche il difetto di non rendere giustizia alla curvatura terrestre e inevitabilmente si perviene ad errori di lettura. Dato che si riteneva la terra essere sferica, il problema era ben presente agli addetti ai lavori. Una delle prime prese di coscienza viene tramandato attraverso **Strabone**. Nato in Asia minore ad Amasia nel 64/63 a.C. e morto ad Amasia nel 25 d.C., di famiglia benestante ebbe una formazione culturale greca, e nel 44 a.C., si trasferì a Roma per studiare Geografia. In seguito grazie ai vari viaggi si costruì una notevole esperienza geografica dei luoghi. Toccò Creta, Corinto, rimase 5 anni ad Alessandria, da cui lungo il Nilo arrivò a Syene (attuale Assuan), raggiungendo poi i confini dell'Etiopia. Il disegno del suo Ecumene non è giunto fino a noi, ma vedendo una sua ricostruzione, pare molto simile a quella di Eratostene. Riduce le dimensioni, 70.000 stadi di estensione di longitudine al parallelo di Rodi, per 30.000 stadi di estensione di latitudine. Nel manuale elementare di astronomia e di geografia matematica, "*L'Introduzione ai fenomeni*", mostra lo stato dell'arte greco-romano dell'epoca confermando la credenza verso l'ipotesi di **Cratete di Mallos** dell'esistenza di 4 ecumeni simmetrici distribuiti sul globo terrestre. Dei suoi lavori ci è rimasto la "*Geographia*", composta da 17 libri, frutto della sua esperienza e di una raccolta di informazioni delle precedenti fonti greche. L'opera fu completata circa nel 23 a.C. ed ha avuto il merito, nonostante nessuna mappa sia giunta sino a noi, di rendere noto il lavoro di **Eratostene** e **Ipparco**; critica i primi contributi alla cartografia e dedica anche una piccola discussione al problema su come *proiettare una sfera* su di un piano. Per una rappresentazione fedele suggerisce di adottare il globo "*come aveva fatto Cratete*" consigliando di realizzarlo magari di almeno 10 piedi di diametro. Dato che afferma che il suo lavoro non è rivolto ai matematici, ma a chi necessita di conoscere le abitudini dei popoli e le risorse naturali della Terra, il primo tentativo geometrico di rappresentare una superficie curva su di un piano spetta a

**Marino di Tiro**, geografo e cartografo della prima metà del II secolo d.C.. Partendo dagli studi di Eratostene, di Ipparco e di Posidonio, diede un contributo allo sviluppo della geografia matematica e alla cartografia. Grazie alla sua opera sappiamo anche che **Eratostene** conosceva la proiezione conica di cui successivamente farà uso **Tolomeo**, ma preferiva la proiezione ortogonale perché riteneva che la distorsione fosse irrilevante e che l'immaginazione dell'uomo fosse in grado di rendere curve le immagini. Ma anche **Ipparco** ne era a conoscenza dato che rimprovera Eratostene di non averne fatto uso. E' così che Marino seguendo le orme di Ipparco, nel 120 d.C., inaugura i vari tentativi di proiezione della superficie terrestre attraverso una *proiezione cilindrica equidistante*. Inoltre introduce i concetti di Latitudine e longitudine e per primo adotta il sistema di misura delle coordinate in *gradi di arco sessagesimali*. Grazie a quest'ultima soluzione riuscì ad eliminare l'incertezza di misure legate alla interpretazione dei futuri lettori sulle diverse unità di grandezza utilizzate per le lunghezze. Nella sua rappresentazione, come longitudine zero sceglie quello passante per Rodi. Secondo i calcoli di **Marino di Tiro**, ritenendo la terra sferica e quindi di estensione 360° in longitudine, le terre a lui note, tra le isole Fortunate e la Cina coprivano un'ampiezza di 225°. Ne consegue che la terra ignota (Oceano Atlantico) si estendeva di 135°. Con una simile estensione decadeva e perdeva di interesse la precedente ipotesi di Cratete sui quattro mondi simmetrici. Varie informazioni sull'opera di Marino di Tiro le conosciamo grazie a **Tolomeo** (≈ 90-170 d.C.), infatti sappiamo che la maggior parte della sua opera è una descrizione topografica dove forniva le distanze e le direzioni tra i luoghi. Marino aveva disegnato un planisfero basandosi su molte misurazioni astronomiche e matematiche, ed aveva raccolto varie informazioni sulla posizione di varie regioni. Secondo Tolomeo, Marino raggiunse un maggior dettaglio rispetto ai predecessori ma commise anche degli errori: come quello di proiettare la superficie sferica in un piano spaziando i paralleli equidistanti per uguali differenze di latitudine, quando in realtà la proiezione nelle zone polari, a causa della curvatura, vede le terre avvicinate. Al fine di ridurre tali errori Tolomeo propose di adottare una *proiezione conica* il cui asse coincideva con l'asse terrestre e la cui superficie doveva essere secante in corrispondenza dei paralleli di Rodi e di Thule (Islanda). Quest'ultima proiezione fu adottata solo per il suo ecumene, mentre per 26 cartine regionali adottò la proiezione di Marino. In seguito, Tolomeo, che era astronomo, geografo, e matematico, attorno al 150 d.C., copiando le innovazioni del maestro Marino di Tiro e gran parte del materiale geografico, redasse una delle più grandi e importanti opere cartografiche della storia, quello che possiamo definire il **primo atlante**: la "*Geographia*", talvolta chiamata impropriamente "*Cosmographia*". In quest'opera inserì ciò che era già riuscito a concepire per la rappresentazione del cielo con "*Mathematiké syntaxis*" (*composizione matematica*) chiamata anche "*Grande sintassi*" ma più nota come "*Almagesto*" (*il Massimo*), titolo ereditato da una traduzione in Arabo. Raccoglie l'eredità ellenica dei predecessori, riordina e corregge le varie informazioni, consegnando alla storia l'apice raggiunto delle conoscenze geografiche dei tempi antichi. Questo trattato rimarrà l'opera geografica di riferimento per tutta l'età medievale. Un insieme di 8 libri comprendente una raccolta di 27 carte geografiche, più una generale, l'ecumene, che rappresenta il mondo abitato e conosciuto ai quei tempi. Tolomeo dubitando che le sue carte potessero essere tramandate fedelmente, si preoccupò di lasciare scritto il metodo adottato, in modo che si potessero ridisegnarle più correttamente. Nel primo libro descrive i principi base della cartografia, descrive le costruzioni dei globi e in particolare fornisce la spiegazione per la proiezione adottata per il suo ecumene. Afferma inoltre di aver corretto vari errori commessi da Marino di Tiro. Critica la sua proiezione che distorceva le distanze perché l'unità di misura delle longitudine è diversa da quella della latitudine in rapporto di 4:5. In tale rappresentazione le distanze sono corrette solo vicino alla latitudine di Rodi. Per Tolomeo tale sistema era valido solo per mappe che coprivano una piccola area, ma non per l'ecumene e pertanto indica due sue proposte di come realizzare una proiezione cartografica da una

sfera ad un piano. Una proiezione conica pura, e una proiezione, come da fig. 44, in cui i meridiani si incurvano a incrociarsi verso un punto situato all'incirca nella regione del polo Nord non rappresentato. Nei libri II-VII° troviamo un elenco di circa 8000 località, in gran parte derivato da Marino di Tiro, con i loro nomi elencati in un indice in ordine alfabetico, con le coordinate geografiche di latitudine e 180 località di longitudine, ricavate dai vari resoconti di viaggio, di cui solo poche sono corrette. Nell'elenco si trovano anche i luoghi aventi la stessa *durata del giorno più lungo* (luoghi sulla stessa latitudine) e di altri con la stessa distanza in ore da un meridiano standard. Nel VIII° libro sono raccolte 26 mappe singole delle diverse zone della Terra. Nell'ecumene, vedere fig. 44, Tolomeo sceglie come parallelo di riferimento il cerchio principale derivato dall'osservazione del moto dei corpi celesti: l'equatore. Copiando i predecessori adotta il sistema sessagesimale suddividendo la terra in 360°, l'estensione in latitudine diventa così di circa 80° passando da 16,25° Sud a 63° Nord. La linea di latitudine che passa attraverso Rodi e le colonne d'Ercole (stretto di Gibilterra) seguendo la tradizione è il 36° grado e divide l'emisfero boreale dell'ecumene in due parti uguali.



**Figura 44** Proiezione di Tolomeo secondo Nicolò Germano, e confronto con la carta di Mercatore.

Dato che non esisteva alcuno standard, come riferimento alla Longitudine zero, preferisce adottare la parte più occidentale conosciuta in quel periodo (estrema sinistra della mappa, ovvero l'Ovest), facendolo passare per le isole fortunate, molto probabilmente quelle che noi oggi chiamiamo isole Canarie e arcipelago di Madera, al largo della costa nordoccidentale dell'Africa. Per le singole mappe adotta una griglia di coordinate spaziate di 1° grado ciascuno corrispondente alla sua valutazione di una misura di 400 stadi. Dato che ritiene la terra sferica, e l'estensione del suo ecumene non superiore a 180° è probabile che si immaginasse che il resto della terra fosse coperto dall'acqua. Pur rappresentando poco più che 1/4 della terra, comunque sia, si doveva immaginare una superficie terrestre dell'ecumene ben più grande di quella disegnata. Ai confini perimetrali della mappa troviamo per la stragrande maggioranza solo delle terre, ai confini estremi est troviamo l'Asia che non lascia spazio ad alcun oceano, allo stesso modo più della metà del confine Nord è occupato dalle terre dell'Asia, a Sud l'Africa è deformata a tal punto da congiungersi all'Asia oltre l'India, escludendo ogni spazio ad un ipotetico oceano. Del resto le terre a Sud, a dimostrare la mancanza di informazioni, sono chiamate terre incognite, ma l'oceano indiano diventa in tal modo un mare interno. L'unico oceano che si salva è quello Atlantico ad Ovest a simboleggiare forse il limite invalicabile delle colonne d'Ercole che è ben radicato nelle conoscenze occidentali ed



elleniche. A causa di vari errori di interpretazione delle distanze, il suo ecumene non è fedele alle dimensioni della terra e, come mostrato dalla fig. 44 essa appare molto più estesa di quanto non lo sia in realtà. Il Mediterraneo di Tolomeo è esteso circa  $62^\circ$ , quando in realtà è di circa  $42^\circ$ . Tolomeo cataloga la terra anche in base a una suddivisione dipendente dal tipo di clima e dei venti. Per quanto riguarda le latitudini conserva la terminologia antica: nella sua opera "*Composizione matematica*" (Almagesto 2, 6), le zone sono distinti dai climi, e sono definite secondo la durata del giorno più lungo. Esprime i paralleli non in gradi ma in base al loro numero in relazione ad ogni 1/4 d'ora. Scrive Tolomeo del  $26^\circ$  clima: "*dove il giorno più lungo dura 18 ore e mezza e la distanza dall'equatore è di  $59^\circ 1/2$* ". Il legame del clima con la latitudine si desume dalla sua etimologia che deriva dal greco Klima, inclinazione, che a sua volta deriva da Klino, inclinare e in tal caso evidenzia la diversa inclinazione della terra dall'equatore ai poli. Tradotto nell'uso comune diviene una suddivisione di zone a stessa temperatura del globo.

## 4.13) Misura della longitudine.

### 4.13.1) Primo metodo di misura della longitudine: punti stimati

Il metodo che andava per la maggiore e di più facile adozione era quello di valutare le distanze in base ai giorni di viaggio. Se il mezzo di locomozione erano i cammelli, l'unità di misura erano i giorni di cammino dell'animale necessari per muoversi da una località all'altra, che è stimato intorno a 15 km al giorno nel deserto. Se il mezzo di locomozione era una nave, l'unità di misura diventava i giorni di navigazione, dipendenti dai luoghi, correnti, venti. Per conoscere con precisione le distanze dei luoghi si doveva viaggiare di persona, ma era improponibile per tutti i luoghi della terra ed ecco che diventava molto importante intervistare molti viaggiatori, commercianti, marinai, soldati in guerra, per avere una stima di più luoghi possibili per disegnare carte geografiche il più fedeli possibili. Ma era evidente che la precisione non poteva certo essere elevata.

### 4.13.2) L'astrolabio Piano

Quando per definire le distanze terrestri si preferiva utilizzare la volta celeste, occorreva avere a disposizione della strumentazione scientifica che ne facilitasse le misure. Uno strumento molto diffuso ed utilizzato, fin dalle remote antichità, è l'**astrolabio**, vedere fig. 45. La parola deriva dal latino Astrolabium e dal greco Astrolabos o astrolábon, composto dalle parole Astron = astro e Labo o lambáno = che prende/comprende, con il significato di "*che prende gli astri*". L'invenzione dell'astrolabio piano è incerta, non si è sicuri di chi lo abbia costruito per primo. Molti storici assegnano ad **Ipparco** (II sec. a.C.) la sua invenzione, ma potrebbe essere stato **Tolomeo**, mentre altri storici affermano che sia stato inventato dagli arabi. Ipparco di Nicea, nella sua opera "*Commento contro i fenomeni di Arato e Eudosso*" dimostra di conoscere la proiezione stereografica che era necessaria per realizzarlo. Egli espone il metodo per la costruzione di un orologio anaforico (cioè con indice mobile) che serviva per indicare le ore e le posizioni degli astri rispetto ad una rete di coordinate, ma essendo uno strumento diverso da un astrolabio piano si tende a mettere in dubbio che lo abbia costruito per primo. Tolomeo nella sua opera "*Planisfero*" mostra l'applicazione a uno strumento oroscopico: anche in questo caso per costruirlo occorre avere conoscenze sulla proiezione stereografica, essendo molto simile probabilmente è da ritenersi un vero astrolabio piano. Ma l'unica certezza sull'argomento è che il matematico greco **Teone d'Alessandria** (335 ca. - 405 d.C. ca.) lo conosceva a tal punto da scrivere un trattato sullo

strumento, pervenuto fino a noi grazie a **Giovanni Filopono** (Alessandria 490 d.C. ca. - 566) e **Severo Sêbôkht** (??? - 667). Per non semplificare la storia dell'astrolabio, con questo termine fin dalle sue origini sono stati chiamati strumenti spesso molto diversi tra loro: si va dai grandi strumenti armillari adibiti a rilevare le posizioni degli astri, come l'astrolabio armillare di **Claudio Tolomeo** (II sec. d.C.), agli strumenti di modeste o piccole dimensioni utilizzati nel calcolo astronomico o in navigazione: l'astrolabio piano, l'astrolabio universale, l'astrolabio universale Rojas, l'astrolabio nautico, l'astrolabio lineare, l'astrolabio sferico e planisferico. L'astrolabio può essere considerato un vero e proprio calcolatore astronomico. Grazie alla combinazione dei due moti celesti di rotazione giornaliera delle costellazioni, e di rotazione annuale del sole sullo zodiaco, si può definire l'ora solare in ogni periodo dell'anno. Benché i principi generali di costruzione erano stati descritti dagli studiosi greci intorno al primo secolo a.C., è grazie alle innovazioni dagli astronomi arabi intorno al 1000 d.C. che lo strumento acquisterà popolarità. Lo strumento dopo la decadenza dell'Impero Romano d'Occidente, fu tramandato e sviluppato tra gli arabi che lo riportarono in occidente dopo che si insediarono in Spagna e in Sicilia.



**Figura 45** Astrolabio Piano Rinascimentale per uso a terra

Costruito generalmente in ottone, fra i 10 e i 20 cm di diametro, era molto spesso arricchito da decorazioni e disegni. Lo strumento fu superato solo dopo il XVII secolo, quando si costruirono orologi meccanici di notevole precisione. L'astrolabio ha ancora un suo spazio d'uso, aiuta gli appassionati di astronomia a riconoscere le costellazioni in ogni periodo dell'anno. Tra i vari tipi di astrolabi che hanno avuto maggiore diffusione abbiamo quelli nautici e planisferici. L'astrolabio planisferico era utilizzato come vero e proprio orologio, l'ora veniva letta su di un disco metallico, su cui era incisa una proiezione della volta celeste, parallela all'equatore e corredato di un reticolo. L'astrolabio nautico non serviva per misurare il trascorrere del tempo, ma più che altro per conoscere l'altezza degli astri come il Sole, la Luna e le stelle, rispetto all'orizzonte. Questo strumento ha accompagnato fra i più importanti esploratori come Colombo, Magellano e Vespucci. In seguito fu sostituito da un altro importante e più conosciuto strumento moderno: il sestante.

### **4.13.3) Secondo metodo di misura della longitudine: eclissi.**

Il primo greco a fornire un elenco di coordinate con latitudine e longitudine è stato **Ipparco** seguito poi da altri cartografi sino a Tolomeo. Le misure sia di latitudine che di longitudine richiedevano

accurate osservazioni astronomiche che, raramente, venivano compiute. Ipparco per ricavare le distanze in longitudine adottava il metodo di osservazioni contemporanee di una eclissi lunare che dovevano essere organizzate con ampio anticipo. Le sue misure costituiscono un riferimento per tutti i successivi geografi. Quando si prevedeva che ci sarebbe stata un'eclissi di Luna, doveva essere organizzata un'osservazione congiunta del fenomeno in vari luoghi della terra di cui si voleva misurare la longitudine. L'osservazione consisteva nel rilevare, con la maggiore precisione possibile, a che distanza dal mezzogiorno locale avveniva il fenomeno del contatto della Luna con l'ombra della Terra, misurando il tempo con orologi ad acqua, o aiutandosi con altre osservazioni astronomiche. Dalla differenza tra i tempi locali (tempo solare o siderale) misurati nei due luoghi, si può ricavare la differenza di longitudine ( $1 \text{ h} = 15^\circ$  di estensione di longitudine). Rispetto all'orizzonte ed al meridiano locali nei due luoghi non solo è diverso il tempo, ma anche la posizione della Luna e di tutti gli altri corpi celesti. Seguendo un ragionamento di Galileo Galilei: *"supponiamo che a Venezia la Luna si immerga nell'ombra della Terra alla mezzanotte, mentre nelle Isole Fortunate (Isole Canarie) lo stesso fenomeno avvenga alle dieci di sera, siccome il fenomeno in realtà è avvenuto nello stesso tempo, ma i due osservatori lo hanno visto ad una distanza apparente di due ore, questo significa che il Sole, per spostarsi dalla posizione del mezzogiorno di Venezia a quella del mezzogiorno nelle isole Canarie impiega due ore. Ovvero, supponendo che il Sole se ne stia fermo in cielo (cosa che è vera solo in modo approssimativo), questo vuol dire che la Terra ci ha messo due ore per ruotare da Venezia alle isole Canarie rispetto ad un riferimento fisso, e quindi la differenza di longitudine è di 30 gradi, percorrendo la Terra quindici gradi all'ora nel suo moto di rotazione."* Le misure possono apparire molto semplici da eseguire, ma in realtà la precisione non è facile da ottenere, basti l'esempio che anche Tolomeo, considerato fra i più grandi fra gli astronomi e geografi della storia, ebbe a disposizione una eclissi lunare, ma ne ricavò delle distanze sbagliate. Inoltre per quanto riguarda la navigazione le eclissi di sole e di luna, erano troppo rare per dare un vero aiuto. Con questa tecnica si poteva fissare la longitudine circa una volta l'anno. Pertanto per risolvere il problema della posizione in mare era necessario poter individuare un altro metodo che potesse essere disponibile ogni giorno o almeno molto più spesso. Il metodo delle eclissi poteva così essere utile solo per stabilire delle distanze dei luoghi sulla terraferma.

#### 4.13.4) Orologi ad Acqua.

Per poter correlare le distanze in longitudine con gli eventi astronomici, occorre misurare differenze di tempo con una precisione elevata. Considerando la stima della circonferenza della terra di Eratostene, un errore di 10 minuti di distanza in longitudine, tra due luoghi posti all'equatore, corrisponde ad un errore di valutazione di circa 280 Km. E' evidente come l'errore sia notevole e come sia importante determinare l'ora con la massima precisione possibile. Strumenti conosciuti come l'astrolabio piano e le meridiane, non potevano essere utilizzati in particolari circostanze: per esempio non erano disponibili quando è nuvoloso o anche di notte per lo strumento gnomonico, pertanto in determinate occasioni della vita quotidiana dovevano essere utilizzati degli orologi ad acqua, più comunemente conosciuti come clessidre. In genere, erroneamente, si pensa a quel soprammobile formato da due ampole di vetro con dentro della sabbia, ma in realtà, come suggerisce l'etimologia della parola dal greco *klépto* = rubo, e *hýdor* = acqua, la misura è eseguita attraverso l'acqua. Questo tipo di orologio si crede sia stato inventato dai Babilonesi, e poi passato agli Egiziani di cui abbiamo diversi riferimenti certi e perfino l'inventore. In Egitto dati i molti *rituali religiosi* che si succedevano nell'arco della giornata, era necessario poter **controllare il tempo** con più precisione e probabilmente i sacerdoti a tale scopo elaborarono diverse tecniche di

misura. L'orologio veniva utilizzato anche nei processi pubblici, in forma di Leone ed era chiamato il "*Guardiano del fiume*". Aveva la funzione di misurare le ore e i periodi di tempo più brevi durante tutto il giorno ma soprattutto per la notte. Grazie a diversi autori, come il filologo francese **Claudio Salmasio** (Semur, Borgogna 1588, 1653 Liegi), sappiamo che le *clessidre ad acqua* furono utilizzate anche per scopi astronomici; molte informazioni a riguardo si trovano nel libro di **Giuseppe Settele** "Illustrazione di un antico astrolabio, Roma 1817" il quale ci informa che diversi autori come l'astronomo greco **Cleomede** (I sec a.C.) (Cyclic. Theor. Lib. 2), **Teone Alessandrino** nel Commentario al Lib. 5 dell'Almagesto, e il filosofo maestro **Proclo Diadoco** (Costantinopoli 411 - 485 Atene) al § 3 dell'opera "*Hypotyposis*", espongono il metodo per misurare il diametro del Sole e della Luna utilizzando il tempo trascorso dagli astri a percorrere l'equatore tra un lembo e l'altro, misurato attraverso una clessidra. **Cleomede** ci informa che con tale metodo il diametro del Sole misurato è la settecentesima parte della sua orbita, molto vicino al vero. Nei suoi scritti sull'astronomia **Proclo** descrivendo come l'orologio ad acqua poteva essere utilizzato per misurare il diametro apparente del sole afferma che sia stato introdotto dall'inventore greco di varie macchine **Erone il Vecchio** chiamato anche **Erone di Alessandria** (I sec. a.C.). Dato che Proclo avrebbe dovuto conoscere che in precedenza un altro inventore di macchine greco, **Ctesibio di Alessandria** (285ca. -222 a.C. ca.) aveva apportato delle migliorie all'orologio ad acqua portandolo ad una precisione superiore a qualsiasi altro orologio inventato fino al XVII sec. (introduzione degli orologi a pendolo), l'orologio di Erone il Vecchio doveva costituire un'importante innovazione. L'orologio ad acqua era così diffuso che veniva adottato in varie discipline, come da **Erofilo di Calcedonia** (Bitinia 300 a.C. ca. - ???), un importante studioso greco di medicina vissuto ad Alessandria, il quale se ne fece costruire uno per misurare la febbre dei suoi pazienti, tarabile in base all'età del malato. Non tutti gli astronomi però usavano clessidre: **Tolomeo** nell'Almagesto (Lib. 5. Cap. 14) fa notare che l'utilizzo di questo strumento comportava molti inconvenienti per cui non ne fece più uso a favore dello strumento inventato da Ipparco, "*la diottra*". La diottra forniva misure angolari come uno strumento nautico moderno, il sestante, attraverso di esso si potevano eseguire normali misurazioni dell'altezza del polo celeste determinando la latitudine del luogo.



**Figura 46 Orologi ad acqua e a candela**

Comunque altri riferimenti confermano l'uso della clessidra in astronomia come quello dello scrittore latino **Marziano Capella** (Minneo Felice, V sec.): "*multiplici enim clepsidrarum appositione monstrantur omnia signa paria spacia continere*". Oppure dall'astronomo greco **Sesto Empirico** (II-III sec d.C.), il quale afferma che i Caldei, aiutati dalle clessidre avevano diviso lo zodiaco in 12 parti. Pertanto, dato che la misura della longitudine corrisponde a una misura di

tempo è inevitabile che molti astronomi abbiano utilizzato un orologio ad acqua. Sono stati costruiti diversi tipi di orologi ad acqua, i quali si possono suddividere nelle seguenti 3 categorie:

1. Orologi a Vaso
2. Orologi a Clessidra
3. Orologio a Torre

Gli *orologi a vaso* sono tra i più antichi, in Egitto presso la tomba di un funzionario di corte, l'astronomo Tebano **Amenemhat**, vissuto all'epoca del re Amenhotep I (1546-1526 a.C.), è scritto che avrebbe inventato l'orologio ad acqua. Il più antico di questo tipo di orologio ad acqua è stato ritrovato nella località di *Karnak*. Il vaso, appartenente al faraone Amenhotep II (1390-1352 a.C.), è stato ricavato da una pietra calcarea in calcite-alabastro ed è ben conservato. Sulle pareti esterne sono presenti delle iscrizioni con raffigurazioni delle costellazioni, pianeti, dei decani e le divinità più importanti di ogni mese. Per gli Egiziani le costellazioni lungo l'equatore erano 36 e pertanto al tramonto si alternavano nel cielo a turno di circa 10 giorni consecutivi, da cui il nome di decani. All'interno dell'orologio sono presenti dei riferimenti costituiti da fori che indicano il passare delle ore. Sul fondo si trovano delle piccole aperture per lo svuotamento dell'acqua. Per conoscere il tempo si osservava *l'altezza del liquido* leggendo il livello *più vicino ai buchi*. Veniva riempito d'acqua al tramonto, e dato che le notti non durano per lo stesso tempo durante il corso dell'anno, i riferimenti interni, ovvero i fori, presentano scale diverse per ciascun mese. Quindi, indipendentemente dalla durata della notte, questa veniva suddivisa in 12 ore, di conseguenza le ore invernali erano più lunghe di quelle estive. La scala mensile più piccola era assegnata al secondo mese di "*Shemo*" mentre la più lunga al quarto mese di "*Aket*". Lo studioso Parker, grazie all'indicazione di queste scale, ha potuto ricavare l'epoca del re Amenhotep II, ovvero il 1° giorno del 1° mese di Akhet doveva essere prossimo all'equinozio di autunno (5 ottobre circa). Ciascuna delle 12 scale era suddivisa sempre in 10 intervalli (11 fori) che indicavano le ore trascorse. Quando l'acqua raggiungeva il primo foro era passata un'ora, quando raggiungeva l'ultimo foro si entrava nella 12°. In Egitto utilizzavano anche un orologio portatile, **la clessidra**, la quale risale alla XVIII Dinastia (1548-1292 a.C.). Costituita da due ampole collegate tramite una strozzatura, l'acqua scendendo fluiva da quella alta a quella bassa. Il vantaggio di un simile strumento era che una volta che l'acqua era totalmente calata, bastava semplicemente rovesciare le ampole per riavviare il ciclo. Utilizzando una serie di queste clessidre, il tempo trascorso era determinato dalla somma dei tempi parziali. Successivamente ritenendo che le clessidre a svuotamento erano inesatte, passarono a quelle basate sul principio di riempimento e comunque senza ottenere buone precisioni. I romani con le clessidre seguivano le fasi delle corse e dei ludi nel circo, nella vita militare servivano principalmente a scandire i turni di vigilanza durante la notte (*vigiliae*). Curioso è l'uso che ne facevano durante il dibattito processuale, definiva il tempo concesso per perorare la propria causa, da cui il proverbio: "*dicere ad Clepsydrum*." In Grecia la precisione delle clessidre non era molto elevata, raggiungevano un errore di circa 8 minuti e mezzo ogni ora, ma per l'uso che ne facevano era irrilevante. Le clessidre ad acqua erano imprecise per un difetto determinante, l'acqua era soggetta a evaporazione e poteva congelare in determinati periodi dell'anno, per cui furono sostituite con quella a sabbia, da cui il nome di "**arenaria**". L'altro tipo di orologio ad acqua era quello **a torre**, che per la sua grandezza era un orologio pubblico. Aveva la forma di un cilindro nel quale l'acqua calava da un serbatoio. L'orario veniva definito mediante una scala graduata, grazie ad un indicatore mosso da un galleggiante posto nel serbatoio inferiore. A volte erano presenti complicati congegni che animavano pupazzi e lancette. Fra gli orologi a torre più antichi e molto famosi abbiamo la "**torre di Adronico**", dal costruttore **Adronico Cirreste**, oggi conosciuta come la "*torre dei venti*", si trova ad Atene in Grecia. Questa torre fu costruita tra il II e il I secolo a.C.; da **Vitruvio** sappiamo che probabilmente fu costruita per indicare i venti e successivamente è stato



aggiunto un orologio ad acqua, per poi sostituirlo con 4 meridiane. La torre ha forma ottagonale, **Claudio Salmasio** ci informa che ad ogni lato vi è stato posto la rappresentazione di un vento e in cima alla torre era collocato un *Tritone di Bronzo* che poteva ruotare indicando il vento che soffiava. La torre è considerata un monumento gnomonico eccezionale, nelle 4 facciate sono presenti meridiane rivolte al sole che si illuminavano in successione, segnando il tempo dall'alba al tramonto; sono orologi murali solari verticali, gli unici che ci siano pervenuti dall'antichità, ottimamente conservati ed aventi ancora gli ortostili originali. Altro orologio a torre importante è quello gigantesco Cinese di **Su Sung**, che fu costruito alla fine dell' XI secolo d.C. L'acqua, oltre a indicare l'ora muoveva anche una grande sfera armillare posta sulla parte superiore in modo da simulare il moto diurno della sfera celeste.

#### **4.13.5) Terzo metodo: posizione della Luna.**

Abbiamo già visto come Eratostene era riuscito a misurare la circonferenza della terra con una precisione così elevata da non essere più eguagliata se non recentemente. Il presupposto di tale misura era che la terra fosse sferica, ma non tutti ne erano convinti a tal punto che probabilmente Eratostene propose al faraone d'Egitto, Tolomeo III, di risolvere il problema in modo pratico. Nei primi anni del decennio del 1970 **Barry Fell**, un anglo-americano naturalizzato neozelandese, esperto in lingue antiche ed epigrafista, tradusse delle iscrizioni trovate nelle isole del Pacifico e nell'Iran Java (metà occidentale della Nuova Guinea appartenente all'Indonesia), teorizzando una storia inedita della navigazione ed esplorazioni della terra. La sua straordinaria teoria non è ancora del tutto accettata dal mondo accademico. Fell ipotizzò che le iscrizioni fossero state scritte in dialetto libico dell'antico egiziano e rappresentassero numerosi disegni e dipinti religiosi, raffiguranti divinità greco-egiziane. Vi sarebbero presenti diversi riferimenti astronomici e strumenti di rilevamento celesti, indicazioni su miniere d'oro e d'argento. Secondo le sue interpretazioni, le iscrizioni indicherebbero l'autore dei disegni in **Maui**, che si definiva astronomo e navigatore d'una flotta di 6 navi, comandata da **Rata**, salpata dall'Egitto verso il 232 a.C. sotto il regno di Tolomeo III, con la missione di circumnavigare il mondo. Altre iscrizioni, oltre 1500, sarebbero state identificate in varie isole *dell'oceano pacifico*, dalla *Polinesia* alle *Hawaii* alla *Nuova Zelanda* al *Cile* che ne attesterebbero e proverebbero il tentativo. Secondo Fell, a quei tempi l'Egitto era in grado di intraprendere lunghi viaggi e possedeva le conoscenze astronomiche e strumenti per la navigazione a tal punto che il faraone **Tolomeo III** avrebbe inviato la spedizione, oltre che a dimostrare che la terra non è piatta ma tonda, alla ricerca di nuove miniere per le proprie monete. La flotta di navi comandata dal capitano Rata ed il navigatore Maui sarebbe salpata dalla *Cirenaica*, odierna Libia, che i greci chiamavano Mauri. Non si aspettavano un viaggio breve e pertanto come usava all'epoca durante il percorso, nella stagione della semina, si fermavano in un luogo sino al tempo del raccolto, in modo tale da poter procedere nel viaggio con scorte alimentari. Al momento di partire piccoli gruppi di navigatori si potevano fermare e colonizzare i posti attraversati. Pertanto venivano lasciate tracce del loro passaggio sia materiale, che culturale, che linguistico. Questo potrebbe anche spiegare come le piante e animali domestici possano avere raggiunto la Polinesia dall'America e dall'Asia. Dato che la spedizione ufficialmente è attribuita agli egiziani dell'era dei Tolomei, ci aspetteremmo di trovare dei geroglifici greco-alessandrini o un dialetto nativo, ma in realtà nessuna di tale iscrizione è mai stata identificata. Le diverse iscrizioni rilevate in ogni parte del mondo dimostrerebbero come in realtà i faraoni, fecero uso di flotte e marinai di altri popoli come i libici, rinomati navigatori, lasciando iscrizioni non dell'antico egizio ma libico-berbere, derivazione dal gruppo dei marinai della Cirenaica. La spedizione avrebbe prima risalito un tratto del fiume Nilo e sarebbe passata nel Mar Rosso tramite il canale navigabile dei

faraoni, per proseguire attraverso l'Oceano Indiano ed arrivare in Indonesia. Qui Maui, nella grotta dei navigatori, raggiungibile soltanto dal mare, a **Sosorra** presso il villaggio costiero di Furur della Baia di McCluer, Irian Java nella Nuova Guinea Occidentale, avrebbe lasciato alcuni graffiti raffiguranti navi e attrezzature da pesca, soggetti astronomici come lune e soli nascenti, stelle, dipinti, grafici di navigazione, calcoli, tracciati con carbone e ocre colorate. In quei graffiti, Maui avrebbe esposto il motivo della sua missione. Fell ha potuto avanzare anche una data delle iscrizioni (235-225 a.C.) in base ad alcuni eventi astronomici trascritti nella grotta come un'eclissi Solare e il passaggio di una cometa che sarebbero occorsi nel 15° anno del faraone ovvero con l'eclisse anulare del 19 Novembre del 232 a.C. Un brano della traduzione di Fell testimonierebbe che Maui esponga il teorema di Eratostene affermando: *"Questo particolare teorema fu spiegato a Maui da Eratostene, astronomo della Terra del delta del Basso Egitto."* La flotta, avrebbe proseguito attraverso l'Oceano Pacifico raggiungendo la costa dell'America Centrale, che navigando per parallelo diventa una barriera invalicabile. Per superare l'ostacolo avrebbero tentato di circumnavigarla da nord a sud per circa 7000 Km, dalla Baia California a Nord sino al Cile alla ricerca di un passaggio, ma invano. Presso le alture di Santiago del Cile in un'altra grotta si troverebbero altre iscrizioni in cui Maui avrebbe perfino rivendicato all'Egitto il possesso delle coste dell'America. Le iscrizioni della grotta, posta ad oltre 650 metri al di sopra della valle, furono scoperte nel 1885 da **Karl Stolp** che grazie ad un'improvvisa tempesta di neve lo costrinse a cercarvi rifugio. L'ingegnere tedesco-cileno ha lasciato scritto che la caverna è molto difficile da raggiungere e le popolazioni dei luoghi se ne tengono lontani a causa dei segni segreti e degli spiriti. Le iscrizioni furono poi decifrate da Fell nel seguente modo: *"Limite meridionale della costa raggiunto da Maui. Questa regione è il limite meridionale della terra montuosa che il comandante rivendica, per iscritto, in questo territorio. Egli ha condotto la flotta verso sud sino a questo limite. Queste terre il navigatore rivendica al Re d'Egitto ed alla sua regina e al loro nobile figlio, per un'estensione di 4000 miglia, ripida e ricca di montagne, che si levano alte. 5 Agosto dell'anno di regno 16. (corrispondente al 231 a.C.)"*. Probabilmente in questa zona avrebbero preso la decisione di tornare indietro, verso la Nuova Zelanda passando per l'isola di Pasqua dove fantasiosamente Fell ha affermato che un gruppo di coloni si sarebbe fermato sull'isola ed avrebbe costruito i Moai. Oltre ai graffiti vi sarebbero delle prove indirette del passaggio di tale spedizione, presso le popolazioni locali dove avrebbero lasciato miti e leggende. Fell ritiene che circa 300 uomini siano i padri fondatori della Polinesia: **Rata e Maui** si troverebbero presenti nelle leggende di gran parte delle popolazioni come i primi eroi. In Polinesia troviamo vari nomi, come la divinità del sole Ra lo stesso che in Egitto. L'antica lingua maori, la quale secondo Fell differisce dalla lingua parlata da Maui soltanto in alcuni aspetti minori, con l'apporto della lingua libica e tutte le conoscenze egiziane, divenne il patrimonio di partenza della Polinesia. Secondo Fell, in Nuova Zelanda si potevano trovare iscrizioni libiche risalenti perfino al 1450 d.C. e più antica è l'iscrizione e più assomiglia alla lingua cirenaica. Infine la spedizione non tornò mai in Egitto a causa di diversi naufragi e gli ultimi superstiti si fermarono in Australia. Secondo un'altra iscrizione, una nave fece naufragio sull'isola di Pictarin, dove si trovano dei graffiti che conserverebbero le tracce del passaggio della spedizione. In Australia ebbe termine il viaggio con l'ultimo naufragio e i superstiti qui si stabilirono. In Egitto, non avendo ricevuto più notizie, poterono pensare che il viaggio non aveva avuto termine perché la terra era piatta e pertanto senza fine. Questo provocò probabilmente un declino di Eratostene.

#### 4.13.6) Tanawa

Cosa centra il viaggio di Rata e Maui con la Longitudine? Secondo la teoria di Fell il navigatore Maui sarebbe stato istruito da Eratostene per conoscere durante il viaggio la propria posizione e quindi la latitudine e longitudine necessaria per valutare quanto sarebbe mancato al termine del viaggio. Per fare questo avrebbe avuto bisogno anche di una strumentazione speciale che non è richiamata in alcun testo di epoca successiva. Secondo Fell, nella grotta dei navigatori a Sosorra in Iran Java, sarebbero presenti diverse illustrazioni di fenomeni celesti con graffiti di strumenti astronomici, come un sostegno a croce, un orologio solare ad angolo variabile per poterlo utilizzare in diverse latitudini, uno strumento di calcolo che corregge gli angoli zenitali a seconda della latitudine, divisori, squadre e carte celesti che mostrano specifiche costellazioni. Ma in particolar modo si troverebbero diversi graffiti che spiegano l'uso dello strumento principale che Maui portava dietro e che sarebbe servito ad identificare la longitudine: un calcolatore chiamato "**Tanawa**". I graffiti dello strumento, raffigurato insieme a varie mappe celesti, si troverebbero anche nell'isola di Wamera, in prossimità della costa sud-occidentale della Nuova Guinea. Il segreto di Maui era una misura della distanza lunare eseguita con lo strumento che si considerava così importante da lasciare un'iscrizione, interpretata come un rebus, presso la grotta dei navigatori di Sosorra: *"La terra appare sottosopra, e le costellazioni di una metà dell'eclittica sono rivolte verso Sud, mentre le altre sono in ascendente. Questa è la Tanawa di Maui."* La Tanawa sarebbe stato uno strumento di navigazione, un calcolatore molto simile ad uno strumento successivo all'anno mille : "**il Torquetum**".

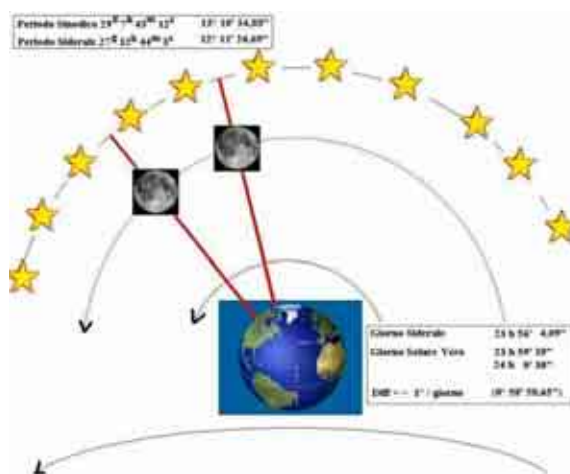


**Figura 47 Ricostruzione della Tanawa secondo il modello del Dr. Sentiel Rommel.**

Disegno di MATT MAKOWSKI, da "The Epigraphic Society Occasional Publications", vol. 32, N. 29, feb. 1975.

Dei Torquetum sarebbero sopravvissuti ben pochi esemplari ed alcuni sarebbero appartenuti ad astronomi tedeschi come **Nicola Cusano** (Cues 1401 - 1464 Todi) e **Regiomontano** (Königsberg 1436 - 1476 Roma). Nell'opera di Danti sull'astrolabio, viene descritto come noto all'epoca del 1460 dal Regiomontano con il nome di Torquetto e considerato come un antenato moderno del teodolite, strumento necessario per misurare le distanze sulla terraferma. Lo strumento permetteva di misurare contemporaneamente sia le coordinate altazimutali che uranografiche di una stella. La Tanawa in modo simile al Torquetum, presenta un piano inclinato di  $23^{\circ} 30'$  a rappresentare l'inclinazione terrestre, permettendo di osservare l'eclittica, per inquadrare la luna ed i pianeti. Attraverso lo strumento si può identificare la longitudine e la latitudine d'un pianeta o della Luna.

Con tali informazioni si può predire le eclissi e le occultazioni delle diverse stelle o pianeti da parte della Luna. Il dr. **Sentinel Rommel** attraverso tali graffiti ha ricostruito lo strumento che vediamo in fig. 47. In A la base dello strumento rappresenta l'orizzonte dell'osservatore e l'asse di simmetria viene orientato sul meridiano. Il cerchio B rappresenta il piano equatoriale, mentre C il piano dell'eclittica. Qual'era il meccanismo che permetteva a Maui di conoscere la longitudine? La Luna il nostro satellite, vedere fig. 48, è l'astro del cielo più veloce, il suo periodo medio sinodico, ovvero quello relativo alla posizione del Sole, è circa  $29^{\text{g}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 12^{\text{s}}$ , con un ampio spostamento giornaliero di circa  $12^{\circ} 11' 27''$ . Il moto di rivoluzione della terra sposta i riferimenti delle stelle rispetto al Sole di ben  $1^{\circ}$  ( $0^{\circ} 58' 58,65''$ ) al giorno e pertanto la Luna risulta ancora più veloce se riferita agli astri. Infatti il suo periodo siderale è di circa  $27^{\text{g}} 12^{\text{h}} 44^{\text{m}} 3^{\text{s}}$  e durante l'arco di un giorno è in grado di spostarsi addirittura per circa  $13^{\circ} 10' 35''$ , cioè intorno ai  $33'$  d'arco all'ora rispetto alle stelle. Il navigatore Maui avrebbe portato con se delle tavole del moto della Luna riferite alla città di Alessandria d'Egitto, redatte molto probabilmente da Eratostene o dai suoi collaboratori, in modo tale da poter conoscere la posizione della luna per diversi anni. Maui durante il viaggio avrebbe in tal modo confrontato le effemeridi degli spostamenti delle distanze angolari della Luna con quelli del luogo e la differenza di rilevamento dell'orario di osservazione permetteva di conoscere in modo diretto la distanza di longitudine. Durante il viaggio ad ogni spostamento della Luna di  $1^{\circ}$  rispetto alle effemeridi di Alessandria in relazione alle stelle, corrispondeva uno spostamento sulla terra di  $27^{\circ}$  di longitudine. Il meccanismo di interpretazione della longitudine è simile a quello dei fusi orari: spostandosi verso EST, il mezzogiorno del Sole Locale anticipa, se completiamo un giro attorno alla terra lungo il parallelo, la differenza di tempo è di un giorno intero.



**Figura 48 Metodo degli spostamento Lunari**

Il medesimo meccanismo ha costretto poi i cartografi ad aggiungere la linea di cambiamento di data. Quando i marinai si spostano verso Est la durata del giorno non è esattamente di 24 h ma bensì più corta. Tale differenza giornaliera però non può essere percepita perché distribuita su diversi anni, infatti supponendo un viaggio di 4 anni diventa di circa 1 minuto al giorno. Per la spedizione egiziana, al completamento del giro della Terra, il tempo assoluto trascorso era identico a quello della città di Alessandria, ma essendo ciascun giorno più corto i marinai avrebbero dovuto rilevare un giorno in più, cioè se avessero completato il percorso, avrebbero visto passare il sole al meridiano una volta in più rispetto a chi era rimasto ad Alessandria. Sarebbe accaduto il fenomeno

opposto se avessero viaggiato verso Ovest. Ma dato che il loro riferimento era sempre il Sole, la differenza di lunghezza del giorno comportava una rilevazione di differente posizione della Luna nel cielo. Di conseguenza la differenza fra i due astri fornì la posizione di longitudine durante il viaggio. Confrontando le effemeridi rispetto ad Alessandria, la spedizione si sarebbe accorta di essere in prossimità del porto di partenza, e quindi di aver completato il giro del mondo, quando avessero osservato la Luna in anticipo di circa  $13^\circ$  rispetto alle stelle, ovvero con 1 giorno di anticipo. Ma quanto era l'errore di misura della Tanawa ? A quanto ammontava la precisione angolare della longitudine? Alcuni esperimenti effettuati sui Torquetum hanno mostrato un errore di circa  $1/5$  di grado ( $12'$ ), ma non sappiamo esattamente quanto potesse, in realtà, essere precisa la misura. Considerando che l'obbiettivo non era conoscere con precisione la propria posizione in mare, ma sapere quanto, grosso modo, avessero percorso, sarebbe stato insignificante avere sbagliato, su alcuni anni di navigazione, di qualche giorno. La precisione non era così importante come invece risulterà un millennio più tardi.

#### 4.14) **Gli errori di longitudine di Tolomeo**

Benché Tolomeo sia tra i più grandi cartografi della storia, si è reso protagonista, come del resto tutti i predecessori, di alcuni errori notevoli. Nel definire le distanze della terra effettuate dalle misure e delle scelte che lo portano a determinare la longitudine dei luoghi come se le terre fossero più estese. L'errore più vistoso è dovuto alla interpretazione sulla misura effettuata tramite un'eclisse di Luna che pare che sia avvenuta il 20 settembre del 331 a.C. L'osservazione fu effettuata contemporaneamente ad **Arbela** in Assiria e a **Cartagine**, ma un errore nell'osservazione ad Arbela fece concludere a Tolomeo che tra i due luoghi esistesse una differenza di 3 ore invece di 2, allungando le distanze lungo il parallelo. Altro errore fu che, anche se migliorò le conoscenze raggiunte dal suo maestro **Marino di Tiro** e ancor prima da **Ipparco**, corresse la misura della circonferenza massima terrestre in 180.000 stadi. Ma questo errore dopotutto era un errore indotto, che si basava sul decidere chi poteva avere effettuato una misura più corretta. Purtroppo per Tolomeo e per tutte le rappresentazioni future che lo copiarono, si fidò delle misure effettuate da **Posidonio**, e non di quelle calcolate da Eratostene (di 250.000 stadi) che presentava un raggio della terra più grande. Sommando tutti gli errori Tolomeo provocò una distorsione delle estensioni delle terre, ed in particolare allungò la parte orientale del Mediterraneo. Tale errore si è propagato su tutte le carte successive, e solo dopo circa 2.000 anni, nel periodo moderno, ci si è accorti della erronea estensione. Ad ogni buon conto Tolomeo è responsabile solo per le scelte sbagliate, infatti per la maggioranza dei luoghi dovette fidarsi dei resoconti dei viaggiatori, stimando le distanze in base ai giorni di viaggio necessari per raggiungere le località riportate nella carta. Da queste esperienze inserirà un elenco di luoghi corredati di coordinate geografiche. Tolomeo nella sua rappresentazione del mondo aveva calcolato un'estensione angolare pari a  $180^\circ$  ben  $50^\circ$  in eccesso del reale. Tolomeo criticò a ragione Marino di Tiro, contestando la maggior parte delle sue osservazioni e dei primi viaggiatori, ma di errori ne aveva a sua volta commessi non pochi. Un'altro abbastanza grave è quello di non avere accettato la descrizione di **Erodoto** della circumnavigazione dell'Africa ad opera dei Fenici. A causa di quest'ultima presa di posizione l'Africa e l'Asia sono uniti a tal punto che l'oceano Indiano diventa un mare interno. La maggior parte degli errori di Tolomeo dovettero aspettare l'epoca moderna per poter essere eliminati.

#### 4.15) **La decadenza della cultura Occidentale**



### 4.15.1) Regressione Romana

Con l'espansione dell'Impero Romano la geografia subisce non solo una battuta d'arresto, ma una piena e totale regressione. A dispetto delle conoscenze, pare che Roma in varie discipline della scienza, in particolar modo quelle astronomiche, non si sviluppa adeguatamente. Basti citare come esempio che non conoscevano la gnomonica, il principio di funzionamento dell'orologio solare; verso il 260 a.C. all'epoca della prima guerra punica, prelevarono a Catania un quadrante solare calcolato per funzionare per la latitudine della Sicilia e che pertanto a Roma non poteva indicare l'ora esatta. Occorsero più di 90 anni perché si accorgessero di tale errore, fino a quando nel 164 a.C. il censore **Marco Filippo** non ne fece installare uno adatto per Roma. L'errore comunque non era eccezionale, perché la differenza tra le due città comportava al massimo una variazione di 10 minuti nella lettura, irrilevante a quei tempi per l'uso comune, ma indicativo della sensibilità nelle materie scientifiche da parte dei Romani. Ancora più grave, i romani non seppero acquisire le conoscenze greche; non riuscirono ad assorbire, cosa che invece fecero gli arabi, il meglio della loro cultura. A causa di tali motivi, il mondo occidentale vede nella geografia una regressione inarrestabile, che terminerà solo dopo diversi secoli la caduta dell'Impero Romano. Con la regressione della geografia, decadono tutti i progressi conseguiti sulla longitudine. I romani non arriveranno a porsi il problema e non ho trovato nessun scritto che mostri un tentativo di misurazione della distanza tra due luoghi operata attraverso i metodi ellenici, tramite l'astronomia.

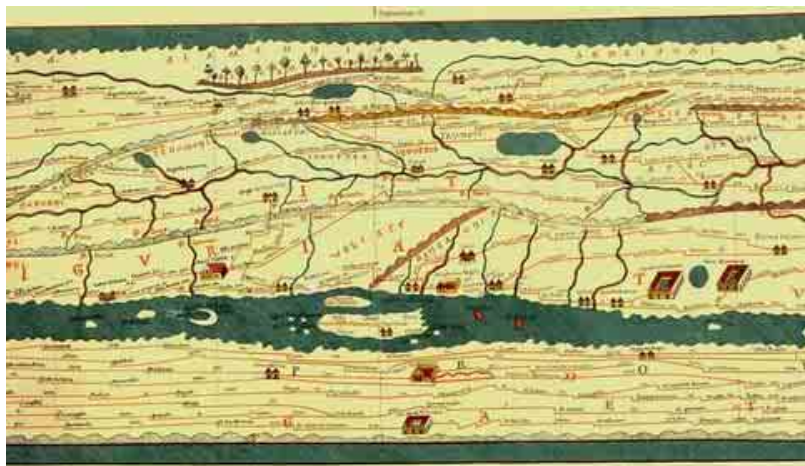
### 4.15.2) Commercio Romano

Grazie alle grandi opere stradali i commerci potevano essere svolti agevolmente a scapito della navigazione. Con l'Impero Romano infatti si assiste ad una regressione della navigazione e il problema della longitudine diminuisce di interesse: non vi è un sufficiente stimolo per la sua risoluzione o miglioramento. Per chi esercitava i commerci, in particolar modo nei mesi invernali, quando le attività di navigazione venivano interrotte, periodo del mare *clausum*, le grandi opere stradali erano validi concorrenti. Ma la motivazione principale del decadimento era che l'economia di Roma si basava essenzialmente sulla propria produzione agricola, ritenendosi autosufficiente e l'attività commerciali e industriali non erano ben considerate dalle persone importanti, tanto che ai senatori era imposto il divieto di possedere navi e di esercitare il commercio. Con il controllo delle popolazioni dell'oriente ellenistico, le attività di navigazione non si erano mai interrotte completamente, le imbarcazioni avevano sempre presentato indubbi vantaggi rispetto ai mezzi terrestri, i quali pur essendo meno pericolosi erano meno comodi e più lenti. I trasporti terrestri potevano viaggiare con una velocità media di circa 23 miglia al giorno, contro quella della navigazione che poteva essere, in una giornata di vento favorevole, oltre le 100 miglia. Inoltre una nave poteva trasportare un carico decisamente superiore di un carro consentendo il trasporto su lunga distanza senza un enorme aggravio di costo. Per il commercio a lunga distanza e di conseguenza per la navigazione, si ebbe un periodo di maggior declino se non arresto, con la disgregazione dell'Impero Romano e l'arrivo delle invasioni barbariche. Nell'occidente romano, con l'affermarsi dell'economia curtense, gli scambi commerciali si limitarono in estensione a poche zone limitrofe, mentre nell'Impero d'Oriente anche se l'orizzonte era più vasto, dopo il secolo VIII d.C. si instaurò un predominio arabo che non interruppe mai i traffici tra i due mondi. In occidente comunque, anche se riservato alla classe più agiata, il commercio ebbe una flebile sopravvivenza tramite le fiere periodiche. Il declino occidentale avvenne durante il periodo **Carolingio**, quando l'imperatore concesse a pochi uomini di fiducia il controllo di regioni, instaurando il feudalesimo del periodo medievale. Vengono concessi dei terreni in *beneficium*, un tipo di usufrutto e non una proprietà trasmissibile ereditariamente, in cambio della fedeltà all'imperatore. In realtà poi il

territorio si vede suddividere in tanti piccoli feudi ereditari che successivamente si renderanno autonomi dall'Impero. Con questo sistema l'economia di scambio decade e prevale l'economia dell'autosostentamento all'interno delle proprietà signorili, le **corti**, da cui la denominazione di economia curtense. La degradazione è così elevata che la moneta viene persino sostituita dal baratto. In modo simile ancora oggi accade per quei paesi che scelgono la chiusura totale verso il mondo esterno. Si instaura il meccanismo di schiavitù dei **servi della gleba** obbligati a lavorare gratuitamente per la terra del signore.

#### 4.15.2.1) Tabula Peutingeriana

Uno dei primi geografi romani è stato lo scrittore latino di origine spagnola **Pomponio Mela** del I secolo d.C., il quale scrisse l'opera "*De Chorographia*" (geografia regionale scritto nel 43-44 d.C.), descrizione in 3 libri dei 3 continenti Europa, Asia, Africa. Non si ha alcuna prova che avesse disegnato delle carte e la maggior parte delle informazioni si ritiene che risalgano ai greci **Eratostene** e **Strabone**, anche se vi sono alcune descrizioni delle regioni del Nord molto migliori, come ad esempio è il primo a citare le Isole Orcadi. Lo scopo della cartografia romana non era quello di rappresentare fedelmente la distribuzione delle terre, ma svolgeva una funzione essenzialmente pratica.



**Figura 49** Tabula Peutingeriana Segmento IV Italia Centro-Nord

I romani avevano realizzato opere stradali che collegavano ogni città del mondo conosciuto, la rappresentazione geometrica della geografia viene deformata completamente allo scopo di rappresentare con più efficienza tale rete stradale. La finalità della rappresentazione era motivata quindi da una necessità di controllo del territorio, più politica militare e amministrativa che realistica. Il sistema di coordinate per identificare la latitudine e longitudine, la correttezza della proiezione della terra sferica sono principi che decadono per tornare alle vecchie mappe ioniche rotonde. Una ricostruzione della carta di **Pomponio Mela** evidenzia una rappresentazione del mondo circondato da un oceano come la *Orbis Terrarum* del 20 d.C. fatta disegnare da **Marco Vipsanio Agrippa** (~ 63 a.C. - 12 a.C.), militare e politico romano. Una regressione di quasi 1000 anni: la rappresentazione della terra ritorna ad essere come quando si riteneva fosse piatta. Ma lo scopo dei romani era quello di poter disporre di eserciti in qualsiasi provincia Romana in poco tempo. Erano disposti in luoghi strategici dell'Impero e grazie alle opere stradali potevano muoversi

con una velocità così elevata da poter rispondere in pochi giorni ad un attacco nemico. Le strade, rispetto alle rotte marine, diventano così importanti che nell'epoca romana si sviluppa l'**itinerarum**, una forma di rappresentazione cartografica simile a quella che i greci usavano per i peripli durante i loro viaggi in mare. Gli **itinerarium** ebbero notevole diffusione e ne esistevano di due tipi: **Adnotata** o **Scriptum** e **Picta**. Gli *Itinerarium Adnotata* erano una guida al percorso delle strade cioè fornivano informazioni intorno alle strade ed ai luoghi attraversati, gli *Itinerarium Picta* erano le carte stradali romane, tavole a colori con l'introduzione di segni simbolici. L'unica copia di *itinerarium Picta* che ci è pervenuto è la caratteristica "**Tabula Peutingeriana**", che rappresenta una testimonianza eccezionale della geografia del mondo romano. E' oggi chiamata *codex Vindobonensis* dal luogo ove è custodita, ovvero la Biblioteca Nazionale Di Vienna (Vindobona). Il nome di *Peutingeriana* deriva da un collezionista tedesco di Norimberga **Konrad Peutinger di Augsburg** (1508-1547), che nel medioevo ne eseguì una copia. La carta realizzata su una striscia di pergamena lunga 6,75 metri e appena larga 34 cm, fu trovata da un umanista di Vienna nel 1507, **Konrad Celtes**, bibliotecario dell'imperatore **Massimiliano I**, ed è composta da 12 fogli di cui il primo, rappresentante gran parte della Britannia e della penisola Iberica è andato smarrito. Lo storico **Luciano Bosio** ritiene che la carta sia databile tra il III e IV sec. d.C. e che la stesura sia stata operata in vari periodi storici da vari autori. Iniziata nel *periodo di Augusto* avrebbe avuto diversi aggiornamenti successivi. Essendo presenti sulla carta sia templi pagani che cristiani si è motivati a pensare che questa carta possa essere la "*Orbis Pictus*" preparata ai tempi di Augusto da **Marco Vipsanio Agrippa**, che sarebbe stata esposta alla sua morte a Campo Marzio. Ma dato che la rappresentazione non reca tracce evidenti di caratteristiche militari, alcuni ritengono che sia stata originariamente disegnata da **Castorius** nel 375 d.C. Lo scopo di tale tavola era quello della rappresentazione di tutti gli itinerari del mondo conosciuto dai romani, da considerarsi una vera e propria guida stradale Michelin. Costruita come un unico rotolo trasportabile poteva servire a un qualsiasi viaggiatore, militare o addetto pubblico. La trasportabilità probabilmente è la responsabile della deformazione della rappresentazione del mondo che ha causato l'allungamento di tutti i riferimenti. Possiamo paragonare allo stesso modo le cartine stilizzate delle linee metropolitane. Vi sono rappresentati circa 200.000 Km di strade e 3000 indicazioni di luoghi tra Europa, Africa e Asia. Sono rappresentati particolari importanti di un percorso stradale come stazioni di posta "*caravan serragli*" con annesse osterie, centri termali, un guado di un fiume, un passo di montagna etc. L'autore intendeva fornire al viaggiatore indicazioni sulle distanze da percorrere espresse in miglia romane oppure in leghe per la Gallia o in parasanghe per l'oriente. Certamente i romani dovevano avere nozioni geografiche assai più precise, ma non interessava la forma dei continenti bensì la notizia che c'era una strada che permetteva di andare da un luogo ad un altro, un elenco di città e di popoli che si potevano incontrare. In fig. 49 possiamo vedere una parte di detta carta, il segmento IV, dove è rappresentata l'Italia centrale. Si può notare come non fosse ancora presente Firenze ma invece città come Lucca e il famoso porto scomparso di Luni. Ai confini della carta, in fedeltà agli antichi modelli greci, tutto il mondo è *circondato dal fiume oceano* che, per la deformazione della mappa, appare più una cornice che acqua.

#### **4.15.3) Regressione Cristiana. La cultura Ellenica diventa il nemico di Roma.**

Il livello di rappresentazione terrestre raggiunto con la **tabula Peutingeriana** non è migliorata da altre tipi di carte come quella di **Dionosio Periegete** (II sec. a.C.), anzi si assiste ad un'ulteriore e progressivo decadimento. Il grande Impero Romano, che ha saputo conquistare molte nazioni e sottomettere molte civiltà, deve soccombere ad un nemico più potente che non combatte con le armi ma con le idee, il Cristianesimo. Con il passare degli anni il popolo di Roma comincia sempre più

ad abbandonare gli antichi dei per la nuova ed unica divinità, Cristo il figlio dell'unico Dio degli Ebrei. Pian piano dalle catacombe i primi adepti riescono a convincere e coinvolgere nella nuova fede sempre più cittadini di Roma, introducendo in questa crescita personaggi di ceti sempre più elevati. Il potere della nuova Chiesa diventa così pressante che si assiste ad una vera e propria rivoluzione delle idee. Tutto ciò che è scaturito dai pagani diventa il diavolo, compresa la cultura. Poco a poco le idee e la cultura devono convergere ed essere sottoposti all'esame e dal filtro della Bibbia e del Vangelo. Ed è così che la cultura ellenica, considerata pagana, non può essere presa come esempio, vi sono troppe divergenze sulla natura del mondo e sulla sua geografia che non si accordano con i sacri testi, tanto vale dichiararla completamente eretica da eliminarla. Inizia così una guerra morale contro tutto ciò che era stato conquistato con i secoli dalla cultura greca. La teocrazia di Roma sentiva la necessità di estirpare le cattive idee, a tal punto che non mancarono vittime a tale progetto. La cultura ellenica doveva essere cancellata e vi furono diversi episodi che ne testimoniano l'evidenza di tale abuso alla stupidità umana, fra cui l'incendio della Biblioteca di Alessandria, l'uccisione di Ipazia e la chiusura della scuola di Atene. A livello storico questi episodi li possiamo considerare come gli eventi simboli del termine della civiltà ellenica e della cultura occidentale, per entrare in un millennio di oblio medievale cristiano. Il substrato culturale generale scende a livelli così bassi che in alcuni settori esegue un passo indietro di mille anni diventando un vero periodo nero per la scienza. In tale situazione il problema della longitudine perde di interesse e non vi sarà alcun miglioramento per la sua risoluzione.

#### **4.15.3.1) Uccisione della cultura: di Ipazia di Alessandria**

L'Impero Romano, per svariati motivi cerca un alleato per difendere il potere, vede nella nuova religione cristiana la possibilità di controllare il popolo in quello che avrebbe portato prima o poi ad indebolimento di Roma. Il 30 Aprile del 311 **Galerio** (Caio Valerio Massimiano, Illiria ?? - 311 Roma), a nome di **Costantino I il grande** (Caio Flavio Valerio Aurelio, Naisso 280 c.a - Nicomedia 337 d.C.) e di **Licinio** (Flavio Valerio Liciniano Licinio, 250 ca. - 324), emanò l'editto di Nicomedia. Decretò la fine degli *editti di Diocleziano*, riconobbe ai cristiani libertà di culto e di riunione, restituì alle chiese i beni non ancora alienati dopo la confisca, ordinò la ricostruzione delle chiese. I cristiani potevano uscire dalle catacombe, il Cristianesimo divenne ufficialmente una "*religione licita*". Ma questo successo non placa l'ira dei capi cristiani, invece di essere contenti di avere raggiunto la possibilità di esercitare i propri culti, tradiscono il diritto per diventare da perseguitati a persecutori: sarà il desiderio di vendetta o per giochi di potere? Alcuni cristiani vollero ripagare i pagani dei torti subiti con altra violenza, comunque sia andata, come sempre, chi ha guidato gli eventi, si è coperto e ha sfruttato come paravento il popolo per commettere delitti orrendi ed azioni contro il buon senso. A partire dal 354, in molte parti dell'Impero Romano cristianizzato, avevano cominciato a bruciare le biblioteche per distruggere la cultura pagana, ovvero il progetto cristiano era rivolto contro la scienza ellenica che non andava troppo d'accordo con la nuova religione. Bisognava eliminare le prove di tanta saggezza perché chi venisse dopo non potesse sapere. In particolare il popolo, non doveva capire, più ignorante era e meglio si poteva controllarlo per trascinarlo attraverso le proprie ideologie attraverso le proprie strategie di potere. Nel 391, con il 3° editto dell'imperatore **Teodosio**, si intensificò la persecuzione contro i pagani e molti cristiani si sentirono autorizzati ad iniziare la distruzione di tutti gli edifici pagani. Ma il covo non era nel centro dell'Impero, era ben più lontano, ma sempre estremamente pericoloso come il cancro. Le idee viaggiano più veloci degli editti e pertanto Alessandria di Egitto, uno dei centri della cultura ellenica viene preso di mira, il centro del male da estirpare. Il vescovo della città,

**Teofilo d'Alessandria** (? - 412 d.C.), avviò una sistematica campagna di distruzione dei templi. L'atto culminante avviene quando il vescovo in persona, guidò i cristiani all'assalto del *tempio di Serapide*, abbattendo l'enorme statua della divinità greco-egiziana unione fra Zeus e Osiride. Ma l'obbiettivo era ben altro, da quando la biblioteca di Alessandria era stata costituita, l'opera di aggiornamento e di studio operata da molti ricercatori aveva raccolto libri da ogni parte del mondo a tal punto da riempire completamente l'edificio. I libri che sopraggiungevano erano così numerosi che si trovarono costretti ad aprire un'altra biblioteca, più grande della prima. Il luogo prescelto fu il tempio di Serapide. Per i cristiani questa biblioteca, aveva un colpa ancora più grave di quella principale: il chiostro del serapeo era aperto a tutto il popolo, era nato per farvi accedere la gente comune. La biblioteca con il tempo era diventata più grande della genitrice, aveva raccolto oltre 700.000 tra rotoli, libri e papiri. La Chiesa lo considerava come il covo della forza del male, del demonio: lì si trovavano le scoperte scientifiche di **Aristarco di Samo** che diceva che la Terra girava attorno al Sole, i libri della geografia di una terra sferica di Tolomeo. Il vescovo insieme al prefetto **Evagrio**, con gli uomini della guarnigione militare, iniziarono l'opera di demolizione. Dopo tale atto di purificazione religiosa incendiarono la mitica Biblioteca di Alessandria. Non era l'ultimo rogo che tali libri dovettero sostenere, ma il danno fu comunque irreparabile, moltissimi libri andarono distrutti. Al rogo qualcosa sopravvisse, o fu "recuperato" in seguito nel saccheggio della biblioteca di Costantinopoli da parte dei crociati, e pare che a Roma, ancora oggi, siano custoditi gelosamente e nascosti nella biblioteca Vaticana. In 80 anni i cristiani si impadronirono del vertice dell'Impero Romano e divennero i persecutori del paganesimo. I cristiani potevano contare in un potere temporale, perché nel 392 **Teodosio** ordinò che il Cristianesimo diventasse una religione di stato, mentre la religione Romana, la base culturale con cui l'Impero era cresciuto, venne proibita, pena la morte. I risultati di tale decadenza culturale non si fecero attendere, nel 410, appena 18 anni dopo, **Alarico I** (Perice 370 ca. - 410 d.C. Calabria) al comando dei Visigoti metteva a sacco Roma. Pochi decenni ancora e l'Impero sarebbe caduto. **Teodosio**, con la cristianizzazione, invece di salvare l'Impero lo aveva portato alla sua immediata rovina. All'inizio del V secolo i pagani non avevano più ne templi, né clero, né statue, ne potevano esercitare riti. Rimaneva però spazio ancora alla scienza e alla filosofia, il problema era che pur avendo distrutto la base del sapere e dei riti rimanevano le teste. Si sa che non è facile far cambiare idea alla gente, e il mezzo più efficace, che ancora oggi, purtroppo, in qualche paese viene ancora utilizzato, è quello della eliminazione fisica. Chi non si adeguava veniva ucciso. Pertanto, pur avendo cancellato le prove della cultura scientifica, l'opera non era completa. L'eredità di 700 anni di evoluzione e di ricerche continuavano a vivere nelle persone, in particolare di uno scienziato, perfino donna, **Ipazia di Alessandria** (370-415 d.C.). Come si permetteva di essere intelligente, lei che avrebbe dovuto essere solo un animale al servizio dell'uomo, che avrebbe dovuto solo essere una schiava come moglie e madre? L'offesa non poteva essere più alta, poche donne avevano, fino allora, osato tanto. Era necessario dare un esempio affinché si capisse quale fosse il ruolo delle donne all'interno della religione cristiana: non un essere umano, ma un oggetto; che rappresentava la colpa del peccato originale e quindi doveva espiare tale orrendo delitto per tutta l'esistenza degli uomini. Ma chi era Ipazia? Vissuta al tempo dell'imperatore d'Oriente **Arcadio** (377-408 d.C.) e di suo figlio **Teodosio II** (401-450 d.C.). Ipazia era così ben vista, e la sua storia ebbe una risonanza così elevata, che appena a 20 anni dalla morte, vennero scritte diverse biografie. Due storici della Chiesa come **Socrate Scolastico** (380-450 d.C.) di religione cristiana, avvocato di professione, nei 7 libri della sua "*Historia Ecclesiastica*" e **Filostorgio**, rischiarono non poco, dato che quando scrissero l'opera, gli attori della vicenda erano ancora in vita. Ulteriori informazioni le troviamo in altre biografie scritte successivamente da parte di **Damascio** (480-550 d.C.), filosofo neoplatonico, ultimo direttore della Accademia di Atene, il quale scrisse "*Vita di Isidoro*" riprodotta nel *Suda*, l'enciclopedia bizantina del X secolo. Ma



abbiamo altre informazioni anche grazie al vescovo monofisita cristiano bizantino **Giovanni di Nikiu** (fine VII secolo) che ricorda le vicende di Ipazia nella "*Cronaca*". Così sappiamo che era figlia d'arte di un noto astronomo, matematico e filosofo, **Teone di Alessandria**, ultimo direttore del Museo della città omonima. Fu istruita dal padre all'arte della scienza diventando la prima donna matematica della storia. Il padre riuscì così bene nell'impresa da essere fiero di affermare di aver fatto di Ipazia "*un perfetto essere umano*", (a quei tempi le donne erano considerate talmente inferiori che erano considerate come animali) che divenne una scienziata, filosofa, astronoma, meccanica, politica, a tal punto da essere considerata l'ultima depositaria e divulgatrice del sapere greco della scuola di Platonismo, dopo **Platone** (Atene 427 - 347 a.C.) e **Plotino** (Licopoli 203 c.a. - 270 d.C. ca. Campania). Era molto conosciuta per la sua intelligenza e bellezza, si recò perfino a Roma e ad Atene a mostrare le sue capacità. Il padre Teone nell'intestazione del III libro del suo commentario al Sistema Matematico di Tolomeo rammenta il contributo e la posizione della figlia: "*Commento di Teone di Alessandria al terzo libro del sistema matematico di Tolomeo. Edizione controllata dalla filosofa Ipazia, mia figlia.*" Una delle discipline in cui seppe distinguersi maggiormente era l'astronomia. Da Filostorgio apprendiamo che eseguì interessanti scoperte sul moto degli astri riportate sul suo libro "*Canone Astronomico*". Ipazia scrisse un'opera in 13 volumi sul padre dell'algebra "*Commentario sull'aritmetica di Diofanto di Alessandria*". Un'altra importante opera in 8 volumi il "*Commentario sulle coniche di Apollonio di Perga*", il quale introdusse gli epicicli e deferenti per spiegare il moto apparente delle orbite dei pianeti. Al suo curriculum vanno aggiunte altre opere come un trattato su Euclide, una raccolta di tavole sui corpi celesti il "*corpus astronomico*". Inoltre si applicò anche alla meccanica e tecnologia, costruendo strumenti scientifici come un idroscopio, uno strumento per misurare il livello dell'acqua e un apparato per distillarlo ed un idrometro di ottone per determinare la gravità (densità) di un liquido, un anemometro, un planisfero e inventò un astrolabio piano. Un'altra colpa grave di Ipazia fu che non riservava la conoscenza a pochi eletti, ai soli studenti, ma aveva l'abitudine di scendere per strada in mezzo alla gente per spiegare i fenomeni dell'Universo, rendendo generosamente disponibile il proprio sapere. Non solo il popolo la venerava, ma anche le autorità pubbliche la tenevano in elevata considerazione. Damascio ricorda: "*Ipazia nacque ad Alessandria dove fu allevata ed istruita. Poiché aveva più intelligenza del padre, non fu soddisfatta dalla sua conoscenza delle scienze matematiche e volle dedicarsi anche allo studio della filosofia. La donna era solita indossare il mantello del filosofo ed andare nel centro della città. Commentava pubblicamente Platone, Aristotele, o i lavori di qualche altro filosofo per tutti coloro che desiderassero ascoltarla. Oltre alla sua esperienza nell'insegnare riuscì a elevarsi al vertice della virtù civica. Fu giusta e casta e rimase sempre vergine. [...] Poiché tal era la natura di Ipazia, era cioè pronta e dialettica nei discorsi, accorta e politica nelle azioni, il resto della città a buon diritto la amava e la ossequiava grandemente e i capi, ogni volta che si prendevano carico delle questioni pubbliche, erano soliti recarsi prima da lei". Secondo quanto ci riferisce Damascio e anche Socrate Scolastico con Ipazia si era finalmente realizzata nel mondo la mitica "politeia" in cui erano i filosofi a decidere le sorti della città. Ma furono proprio tutti questi meriti a metterla nei guai. Ad Alessandria nel frattempo nel 412 **Cirillo** (375-444 d.C.) prese il posto dello zio, il vescovo Teofilo, diventando a sua volta il patriarca di Alessandria ed entrando così in concorrenza con Ipazia. Damascio ci racconta che il patriarca fosse invidioso e alimentasse con tale gelosia il proprio odio: "[...] accadde che un giorno Cirillo, vescovo della setta di opposizione [il cristianesimo], passò presso la casa di Ipazia, e vide una grande folla di persone e di cavalli di fronte alla sua porta. Alcuni stavano arrivando, alcuni partendo, ed altri sostavano. Quando lui chiese perché c'era là una tale folla ed il motivo di tutto il clamore, gli fu detto dai seguaci della donna che era la casa di Ipazia il filosofo e che lei stava per salutarli. Quando Cirillo seppe questo fu così colpito dalla*

*invidia che cominciò immediatamente a progettare il suo assassinio e la forma più atroce di assassinio che potesse immaginare".* Ipazia non avrebbe dovuto competere con Cirillo, in quanto le decisioni sarebbero dovute passare prima dal Patriarca e non da una pagana. E' molto probabile comunque che il problema non fosse tanto l'invidia ma quanto una lotta fra classi dirigenti tra quelli locali pagane e quelle emergenti romane cristiane. La considerazione su Ipazia nei vertici del nuovo potere diventava così sempre più pericolosa, a tal punto che il vescovo **Giovanni di Nikiu** affermò che *"Ipazia ipnotizzava i suoi studenti con la magia e si dedicava alla satanica scienza degli astri."* Visto che molti si erano piegati al nuovo regime teocratico si provò anche a redimere Ipazia dal paganesimo, ma lei si rifiutò di abbandonare le sue idee. La storia evolve e Ipazia si ritrova nel momento sbagliato al posto sbagliato, dal vescovo Giovanni Nikiu apprendiamo come in quell'epoca il passaggio di potere fra la vecchia e la nuova realtà religiosa non fosse solo contro gli dei di Atene ma anche contro gli ebrei. Gli ebrei erano appoggiati e difesi dal prefetto che benché convertito al Cristianesimo difendeva il vecchio corso. Una serie di eventi criminosi dette l'occasione ai cristiani per intervenire per cambiare il corso del potere: *"[...] (Gli ebrei) Di notte posero in tutte le strade della città alcuni uomini, mentre altri gridavano e dicevano: 'La chiesa dell'apostolico Athanasius è in fiamme: corrano al soccorso tutti i cristiani'. Ed i cristiani al sentire queste grida vennero fuori del tutto ignari della slealtà degli ebrei. Quando i cristiani vennero avanti, gli ebrei sorsero e perfidamente massacrarono i cristiani e versarono il sangue di molti, sebbene fossero senza alcuna colpa. Al mattino, quando i cristiani sopravvissuti sentirono del malvagio atto compiuto dagli ebrei contro di loro, si recarono dal patriarca. Ed i cristiani si chiamarono a raccolta tutti insieme. Marciarono in collera verso le sinagoghe degli ebrei e ne presero possesso, le purificarono e le convertirono in chiese. Una di esse venne dedicata a S. Giorgio. Espulsero gli assassini ebrei dalla città. Saccheggiarono tutte le loro proprietà e li derubarono completamente. Il prefetto Oreste non fu in grado di portare loro alcun aiuto."* I cristiani, usciti vincitori da tale scontro vollero chiudere il conto definitivamente con la vecchia classe di potere, Ipazia si ritrovò in tal modo al centro dell'attenzione. Cirillo rappresentava il massimo potere ecclesiastico vincente e Ipazia quella della cultura in declino. Gli avvenimenti condannarono le capacità di Ipazia ad una fine orrenda, ma allo stesso tempo la renderanno immortale. Nel 415, molto probabilmente istigati o assunti dal patriarca Cirillo, dei folli fanatici, monaci cristiani, spesso analfabeti, che vagavano di città in città, compirono un vero e proprio linciaggio. **Silvia Ronchey** nel saggio Ipazia *"l'intellettuale"* li definisce *"pieni d'odio sociale non solo contro i pagani ma contro il mondo civile in genere"*, il Suda definisce *"esseri abominevoli, vere bestie"*. Catturarono Ipazia per strada, la colpirono e trascinarono il corpo nella Chiesa chiamata Caesareum, una Chiesa cristiana, dove venne spogliata, cavata degli occhi, e con dei gusci d'ostrica acuminati, fu dilaniata lentamente a pezzi e poi bruciata in un letamaio. Ricorda Socrate Scolastico: *"[...] l'invidia si armò contro di lei. Alcuni, dall'animo surriscaldato, guidati da un lettore di nome Pietro, si misero d'accordo e si appostarono per sorprendere la donna mentre faceva ritorno a casa. Tiratala giù dal carro, la trascinarono fino alla chiesa che prendeva il nome di Cesareo: qui, strappatele la veste, la uccisero colpendola con i cocci. Dopo che l'ebbero fatta a pezzi membro a membro, trasportati questi pezzi al cosiddetto Cinerone, cancellarono ogni traccia di lei nel fuoco"*. Il vescovo e patriarca Cirillo si adoperò affinché venissero distrutte tutte le sue opere, al fine da eliminare le prove della sua esistenza. Per fortuna non riuscì nell'impresa tanto che oggi possiamo leggere la sua storia. Cirillo e nessun altro dovette scontare alcuna pena per l'assassinio di Ipazia, a tal punto che tali vicende non macchieranno il suo curriculum tanto che successivamente diventerà pure santo. Lo scrittore ecclesiastico greco **Socrate lo Scolastico o di Costantinopoli** (Costantinopoli 380 ca. - 450 d.C. ca.) evidenzia come non vi fosse alcun pentimento e di come a quei tempi simili azioni erano considerate normali operazioni di

conversione: *"Questo affare non portò il minimo obbrobrio a Cirillo, e neanche alla chiesa di Alessandria. E certamente nulla può essere più lontano dallo spirito del cristianesimo che permettere massacri, violenze, ed azioni di quel genere"*. Cirillo rimase in carica come vescovo per altri 29 anni dalla morte di Ipazia finché non morì nel 444. Durante questo periodo il suo episcopato divenne il più potente e temuto di tutto l'Impero d'Oriente. Fatto ancor più sorprendente, la Chiesa nel XIX° secolo sentì l'esigenza di esaltare le gesta dei propri soldati ed assolvere le loro azioni: nel 1882 Cirillo fu dichiarato dottore della Chiesa cattolica e fatto santo. Con la controriforma cattolica si cercò di cambiare le carte in tavola mettendo in discussione l'attendibilità delle fonti e di conseguenza le sue responsabilità. Venne scritto perfino che: *"Cirillo deve essere ritenere pienamente di ogni colpa giustificato da ogni buon credente"* e tuttora è uno dei santi più venerati. Più tardi nel 1932 venne proclamato santo anche il cardinale Bellarmino da Montepulciano, quello che fece bruciare vivo Giordano Bruno e imprigionare Galileo Galilei. Sapeva benissimo che Bruno e Galileo avevano ragione, in particolare Galileo era colpevole di avere fatto il terribile sbaglio di pubblicare le sue scoperte in italiano, in volgare, e non nel latino accessibile solo ai dotti. Tali riconoscimenti non sono quindi circoscritti in antichi contesti storici, ma il crimine più grande è che queste santificazioni sono state eseguite in un'epoca della ragione, quando ormai ci si aspettava un'analisi critica della storia e non una sua giustificazione ed esaltazione. Dopo essere stata trucidata Ipazia, nessun allievo ebbe il coraggio di ricostituire l'antica scuola ellenica. In molti dovettero convertirsi come già lo aveva fatto uno dei suoi migliori allievi, il filosofo greco **Sinesio di Cirene** (Cirene 370 – Tolemaide 415), che intorno al 410 divenne vescovo cristiano di Tolemaide. Con il martirio di Ipazia si pone la scritta fine alla comunità scientifica tra le più grandi di tutta la storia antica, dopo la sua morte, matematica, fisica e astronomia non fecero molti passi avanti, e le scienze diventarono eresie, con lei termina la cultura ellenica ad Alessandria. Massacrando Ipazia non solo fu dato un duro colpo alla ragione alla libertà di pensiero scientifico, ma anche alla condizione generale delle donne. Sarebbero occorsi oltre mille anni perché si potesse rivedere le donne in una veste scientifica, si dovette aspettare praticamente il 1900 con Marie Curie.

#### **4.15.3.2) Chiusura della scuola ellenica**

Altro atto terminale della cultura occidentale importante, che può essere preso come riferimento, è la chiusura dell'accademia di Atene avvenuta per ordine dell'imperatore Romano bizantino **Giustiniano** (Tauresium 482 - 565 Costantinopoli) nel 529. In aiuto dei filosofi di Atene arrivarono gli imperatori persiani sassanidi Cabade e **Cosroe I** (531 - 579 d.C.) i quali concessero asilo presso la loro corte di Ctesifonte. Ma ormai il danno era fatto e si chiude per sempre il libro sulla cultura ellenica, che non troverà più replica in alcuna altra civiltà del mondo. Certamente la civiltà occidentale nell'epoca moderna si è riscattata e si sta sviluppando con una velocità impressionante, ma mai allo stesso modo. La nostra maggiore crescita è dovuta alla tecnologia e alla sinergia e al coinvolgimento di tanti popoli che stanno portando avanti in un'unica direzione la rivoluzione culturale e scientifica partita da **Galileo**. Ma la civiltà ellenica rimane unica, poiché senza tecnologia, da soli, un pugno di persone (la civiltà di oggi non ha paragone numerico, siamo miliardi di persone che non riescono a produrre una simile proporzione di sviluppo di cultura, in particolare l'Europa ha una popolazione circa 20 volte più numerosa), di generazione in generazione, sono riuscite ad affrontare e sviluppare tanti argomenti sia filosofici che matematici che scientifici a tal punto da produrre un background culturale che tutt'oggi sussiste come base. Ancora oggi si parla di come molte teorie all'avanguardia della fisica siano già state teorizzate a livello filosofico da pensatori greci, ancora prima che, grazie alla tecnologia, si aprissero molte porte della natura. Non è da rinnegare la cultura della Chiesa come supporto alla morale del vivere

quotidiano, ma non possiamo far finta di nulla, la storia ha dimostrato, in passato come oggi, come il fondamentalismo genera ingiustizia culturale, ed in questo contesto storico ha eliminato una progredita cultura ritardando per circa 1000 anni il suo corso di evoluzione. Ovviamente non generalizzando e con la dovuta cautela possiamo affermare che l'Europa, dal punto di vista scientifico, si è vista passare un millennio davanti agli occhi come se niente fosse accaduto e ripartire da dove si erano fermati i greci. Con l'epilogo ellenico, si assiste anche all'epilogo dell'Impero Romano. Già in crisi per molti altri motivi, la cristianità è riuscita a dare il colpo di grazia, a tal punto, che Roma è diventata preda delle invasioni delle popolazioni del Nord. La luce si è così spenta sia su uno degli imperi più potenti della storia, sia su Atene, e per l'Europa si riaccenderà soltanto dopo la fine del medioevo. In questo contesto il problema della longitudine decade di importanza, per la sua risoluzione occorre un background scientifico che in questo contesto storico viene a mancare e pertanto non si assiste ad alcun miglioramento ma anzi ad una regressione. La navigazione dovrà far a meno della longitudine ancora per molto altro tempo.

#### **4.15.3.3) Regressione della Geografia**

Come già evidenziato più volte, con la caduta della cultura ellenica era inevitabile che anche la geografia dovesse subire una revisione. Un po' per necessità indotti da un rapporto diverso con la cartografia dell'Impero Romano, e di seguito, un po' per la censura cristiana, la proiezione Tolemaica dell'ecumene torna a essere tonda come le prime mappe del mondo greche, praticamente un salto indietro di un millennio.

#### **4.15.3.4) La terra Piatta della topografia Cristiana**

Con la "*Tabula Peutingeriana*" abbiamo visto una trasformazione della cartografia da parte dei Romani, ai quali non interessava una raffigurazione realistica della terra, ma piuttosto che si avesse una rappresentazione schematica delle strade, per avere una visione che facilitasse l'interpretazione politica e militare di controllo. Questa deformazione determinò un alibi verso una giustificazione che la terra fosse piatta, o almeno alcuni storici hanno interpretato in tal modo questo contesto storico. Quando l'Impero Romano passa di mano ai cristiani, la regressione geografica era quindi già in atto, ma vi è una tendenza ad affermare che il potere teocratico avesse forzato la mano ad interpretare la geografia filtrandola attraverso la Bibbia, dove la cosmologia era definita in 3 livelli. Il nostro pianeta sarebbe dovuto essere un disco gigantesco appoggiato su 4 colonne con sopra il paradiso e sotto l'inferno. Nel livello della Terra vicino al tetto del mondo troviamo gli angeli che sostengono gli astri come il Sole, la Luna e le stelle. Nel livello più elevato abbiamo ancora angeli e santi, ma sopra tutti si erge il Cristo circondato dai santi più importanti. E' anche vero che dopo questo periodo e fin oltre il medioevo la Chiesa, come i romani, sono spinti da un controllo di potere che passa anche attraverso la geografia e non è da scordare che il centro della cultura del mondo occidentale si gioca, in questa epoca, prevalentemente dentro i conventi. In questo caso il fondamentalismo religioso tende a far coincidere ed interpretare cavillosamente tutto con la sacra scrittura anche se fuori di ogni ragionevole prova. Ma pare che l'idea della terra piatta sia stato un fenomeno più medievale, quasi di costume, di ignoranza popolare. Il modello fu abbandonato ufficialmente per merito degli umanisti solo dopo il 1400, ma in realtà è sopravvissuto anche ai viaggi di Colombo, tant'è che ancora oggi si trova qualcuno disposto a mettere in discussione la sua sfericità. L'idea che fosse la religione ad imporre la geometria della terra pare che si sia fatta avanti nel periodo dello scontro fra darwinisti e Chiesa. I sostenitori della teoria evoluzionista, per dimostrare che i creazionisti interpretavano troppo alla lettera la Bibbia, alla ricerca di prove

dell'approccio errato degli studiosi religiosi, si appellarono alla terra piatta. Se gli studiosi religiosi si erano sbagliati ad interpretare la Bibbia imponendo una forma della terra non conforme allo stesso modo si potevano sbagliare sull'interpretazione delle righe sacre sull'origine della specie. Il punto era incentrato sulla Bibbia, la quale non doveva essere presa alla lettera per diventare una realtà scientifica ed opporsi alla nuova teoria di Darwin. Alla ricerca di tale tesi, scartabellando nella storia è stato trovato un autore cristiano del IV secolo, **Lucio Cecilio Firmiano Lattanzio** (250 ca. - dopo il 317), che nella sua opera "*Institutiones divinae*" presenta una descrizione della forma della terra decifrandola dalla lettura della Bibbia: opponendosi alle teorie pagane (elleniche) l'Universo doveva avere una forma a *tabernacolo*, e quindi rettangolare, anche perché non era accettabile che degli uomini potessero camminare a testa all'ingiù agli antipodi della terra. Nella Bibbia troviamo scritto che Dio sul monte Sinai aveva spiegato esattamente a **Mosé** come costruire un tabernacolo (*Esodo 32, 19-22*) e quando si scoprì negli scritti un passo di S. Paolo, secondo il quale il tabernacolo poteva essere inteso come una rappresentazione del mondo, fu del tutto naturale per alcuni studiosi religiosi considerare la terra come un immenso baule. Questa rappresentazione fu poi disegnata nel VI secolo da **Cosma Indicopleuste**, il quale nell'opera "Topografia Cristiana" contesta, come fece prima Lattanzio, la forma sferica della Terra dei Pagani e la teoria degli antipodi per proporre quella della interpretazione biblica a tabernacolo. Questo tentativo cristiano di imporre la forma piatta, dimostra, comunque, come a quell'epoca fosse ancora in circolazione la teoria pagana della terra sferica e che quindi la Chiesa era in difficoltà a sradicare tale corretta convinzione. E' probabilmente vero che i darwinisti abbiano giocato su tale prova, e difatti su molti libri di storia dei secoli scorsi si afferma che il modello di Cosma imperversò per tutto il medioevo quando in realtà l'opera essendo scritta in greco, una lingua sconosciuta a quei tempi, fu resa nota al mondo occidentale solo nel 1706 e pubblicata in inglese per la prima volta nel 1897. Ma è anche vero che benché vi siano poche forme di rappresentazione di disegni a tabernacolo, fu ugualmente conosciuto indipendentemente dalla lingua. Comunque sia andata, il periodo del medioevo era così contorto che si faceva molto spesso un passo avanti ed uno indietro, tutti erano contro tutti, perfino all'interno della Chiesa. Insieme ad estremisti che volevano imporre la traduzione della Bibbia cavillosamente, alla vita di tutti i giorni, nel club dei tondi troviamo anche i filosofi religiosi come **S. Tommaso D'Aquino** (Aquino 1225 - 1274 Fossanova) e **S. Agostino Aurelio d'Ippona** (Tagaste 354 - 430 d.C. Ippona). Quest'ultimo afferma che le Sacre Scritture parlano molto spesso per metafore e sapere se sia sferica o no non serve a salvarsi l'anima, rendendo ininfluyente la questione, ma che probabilmente per timore di qualche ritorsione, con cautela afferma che "*forse*" la terra è sferica. Ma potremmo anche sbagliare nelle nostre affermazioni sugli autori i quali potrebbero avere solo materializzato delle astrazioni figurate e non delle estremizzazioni di rappresentazione della Bibbia e quindi non come una realtà. Difatti il sapere geografico antico viene più che altro messo da parte, ma non negato. Ad esempio **San Basilio** (330 - 379 d.C.) in linea con S. Agostino, afferma che non è importante conoscere la forma della Terra ciò che importa è il comportamento verso la società e verso Dio. Nel IV° secolo, **Macrobio** e nel V° **Marziano Capella**, sono fra i pochi che si esprimono senza ambiguità a favore della sfericità della Terra, e le loro opere sono molto lette nel medioevo. Il vescovo **Giacomo di Edessa** (circa 640 - 708) sottoscrisse la teoria aristotelica della Terra sferica. Nel VII secolo il monaco anglosassone **Beda il venerabile** (*Northumbria 673 - ivi 735*) scrive numerosi testi scientifici tra cui un testo di filosofia naturale dove cerca di esprimere il concetto di sfericità della Terra affermando che che la *rotunditas* tenue non deve far pensare a una ruota (*gyrus*), e nemmeno a una superficie semplicemente convessa (*scutus*), ma proprio a una palla (pila). Il trattato di Beda è un classico e la maggior parte degli uomini di Chiesa, in particolare tutti i monaci che si interessano alle scienze, non potevano non averlo letto. Pare che comunque siano in pochi che vogliano sollevare la questione, più che altro sappiamo che nell'VIII secolo si discute se

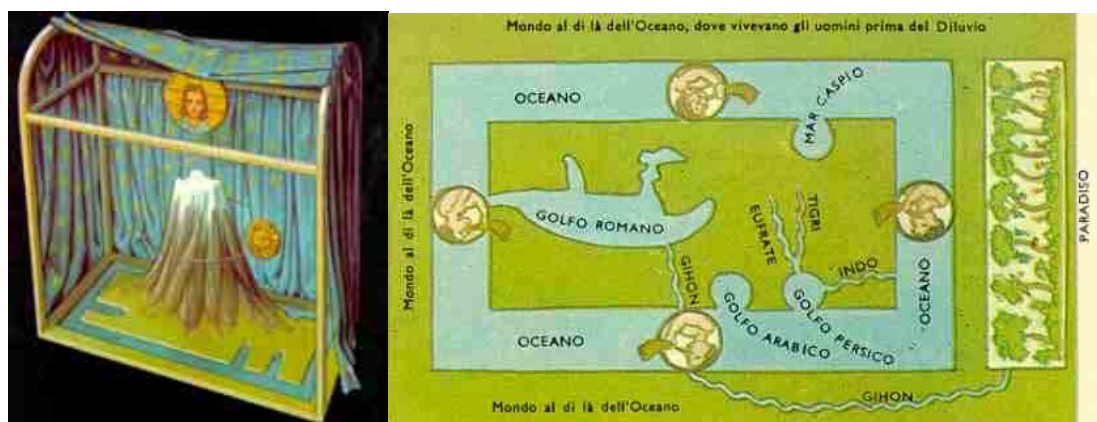


vi erano abitanti o meno agli antipodi della terra. L'arcivescovo di Magonza **Bonifacio** (circa 675-754) nel 748 porta a giudizio davanti a **Papa Zaccaria, Virgilio**, un giovane monaco irlandese perché riteneva che vi fossero abitanti agli antipodi della terra. Non sappiamo se fu condannato ma la questione non deve aver avuto peso dato che successivamente diventa il vescovo di Salisburgo. Gli antipodi costituivano una vera e propria controversia, si supponeva già dalla fine dell'Antichità l'esistenza di un altro continente sul lato opposto della Terra, chiamato nel Medioevo *terra australis incognita* (continente australe sconosciuto). Ma a causa della credenza popolare secondo cui il calore insostenibile della zona equatoriale avrebbe impedito il passaggio dell'equatore, nessuno avrebbe potuto raggiungerla. Comunque essendo posta in una zona temperata rimaneva il dubbio se poteva essere abitata anche da uomini. La questione però non era la geografia della terra, ma era di natura teologica. Nel Vangelo, Gesù aveva disposto ai suoi discepoli: "Andate, e insegnate a tutti i popoli!". Se esistevano degli uomini dispersi lungo la terra era doveroso, e compito da parte dei cristiani, di divulgare la parola di Dio. Ma se davvero gli antipodi esistono, Cristo non poteva aver dato un compito impossibile, c'erano due ostacoli insormontabili da superare: primo il calore torrido della zona equatoriale e secondo l'Oceano Indiano che non avendo i mezzi per conoscere la longitudine, non si riteneva possibile la sua navigazione. Questo ragionamento implicava due possibili soluzioni: o che gli antipodi non esistono come sosteneva Bonifacio, o che non vi abitasse nessuno, o se c'era qualcuno non aveva un'anima o non era completamente umano, a tal punto che non valeva la pena convertirlo e battezzarlo. Questo argomento fu poi ripreso dai conquistadores in America per il proprio tornaconto economico, per schiavizzare gli Indios. C'era anche chi in vena di ammorbidente la questione affermasse che Cristo avesse parlato solo in senso figurato impartendo il proprio comando. Tuttavia questo era un pensiero eretico, che poteva costare il rogo a chi lo asseriva, come purtroppo ha sperimentato l'astrologo e poeta **Francesco Stabili** detto **Cecco d'Ascoli** (Ascoli 1269 ca. - 1327 Firenze), arso vivo a Firenze nel 1327. Il fatto che si discutesse degli antipodi comunque dimostra come non venisse messa in discussione la sfericità della Terra. Dato che le mappe medievali tradiscono una forma pre-ellenica piatta, la raffigurazione è da ritenersi più una forma allegorica, figurativa, che intenzionalmente rivolta a rappresentare la vera geometria della terra.

#### **4.15.3.5) Il tabernacolo di Cosma Indicopleuste**

Commerciante geografo, nato forse ad Alessandria d'Egitto, Costantino di Antiochia o comunemente conosciuto come Cosma Indicopleuste (soprannome che significa navigatore dell'India) era un mercante del VI secolo, che verso il 522 girò il mondo, si recò in Etiopia, in India e a Ceylon. L'esperienza di tali viaggi però non gli impedirono di distorcere la realtà, di redigere una cosmografia forzatamente conforme al testo biblico. Tra il 535 e il 547 scrive la famosa opera "*Topographia Christiana*" in 12 libri, dove fornisce una spiegazione astronomica e geografica dell'Universo in armonia con la teologia cristiana. La disposizione dei luoghi non è più conforme alla tradizione di una rappresentazione basata sui meridiani e paralleli. Identificare la longitudine non è più l'elemento importante, necessario è, invece, essere conformi al dettame biblico, e pertanto il globo terrestre diventa di forma rettangolare con il cielo curvo, come il tabernacolo del tempio di Gerusalemme, vedere fig. 50. Disegna due rappresentazioni, una tridimensionale per mostrare la forma d'insieme del mondo, e l'altra una proiezione piatta, vista dall'alto che mostra la terra rettangolare piatta, con base di estensione doppia della larghezza, insieme alla rappresentazione di tutto il cosmo, ovvero con le terre prima del diluvio e il paradiso. Sopra il pavimento della Terra, sorretto da 4 muraglie, si trova lo strato del firmamento chiamato "*Stereoma*", il velo del firmamento, il quale impedirebbe di vedere la volta celeste ricurva. Sopra le stelle è inserito il

Regno dei Cieli. Come tutte le rappresentazioni di quell'epoca l'ecumene è circondato dall'oceano con vari mari e golfi interni a rappresentare i mari principali come il Mediterraneo, il Mar Rosso, il golfo Persico, il Mar Caspio.



**Figura 50 Il tabernacolo e il cosmo di Cosma Indicopleuste**

Il mondo non poteva che girare intorno ad un luogo religioso importante, quindi il centro del mondo diventa Gerusalemme. La terra appoggia sull'oceano, e leggermente verso nord-ovest si eleva fino a trovare una montagna talmente alta che la cima si confonde con le nuvole. Gli angeli sposterebbero il sole da oriente verso il meridione davanti alla montagna illuminando il mondo. La sera risalendo ad occidente verrebbe nascosto alla vista degli abitanti della terra dietro la montagna. La luna e le stelle eseguirebbero il ciclo inverso al Sole. Gli angeli sarebbero anche responsabili di molti fenomeni naturali, come le piogge, i terremoti, e altri fenomeni atmosferici. Nello sfondo si trovano le stelle, e al di là della cornice dell'oceano si troverebbero le terre dove Noè abitava prima del diluvio. All'estremo oriente di queste terre troviamo il paradiso terrestre abitato da esseri mostruosi da dove nascono i grandi fiumi Eufrate, Tigri e Gange, che giungano a terra tramite un passaggio dall'oceano e di seguito si gettano nel golfo Persico. Il Nilo, dopo un percorso tortuoso per le terre antediluviane, entra nell'oceano per attraversare l'Egitto per arrivare nel golfo Romano, l'Ellesponto, ovvero il nostro Mediterraneo. In genere si tende a citare Cosma per questa incomprensibile, alla ragione, rappresentazione della terra, ma le sue opere sono considerate importanti anche per catalogare la storia e la società dell'epoca. Troviamo la data del Natale, la storia della liturgia, della teologia, il rito del battesimo, la lettera agli ebrei, il rito dei defunti, la canonicità delle epistole cattoliche, studio del cristianesimo dalla Spagna all'India e dei commerci antichi, rapporti tra Impero Romano d'Oriente e d'Occidente, la flora, fauna, condizioni climatiche.

#### **4.15.3.6) Mappa mundi a T**

Oltre all'eccesso della rappresentazione di Cosma Indicopleuste il regresso cristiano ha prodotto altri tipi di carte deformate come le mappe mundi circolari a T (chiamate anche O-T), vedere fig. 51. Eredi delle ultime carte romane, circondate da un'enorme oceano circolare (O) sono chiamate a "T" perché il disegno dei mari e degli oceani ricordano la lettera T. La linea orizzontale rappresenta a sinistra il *mar Nero*, a destra il *fiume Nilo*, mentre la linea verticale è il *Mediterraneo*. Come le precedenti mappe greche, le acque interne suddividono le terre in 3 continenti principali (numero importante cristiano, che ricorda la trinità): l'Europa l'Africa e l'Asia. Dato che, secondo la

tradizione cristiana, il paradiso terrestre è posto in Asia, questo continente è posto in alto, distorcendo la visione delle carte classiche elleniche di cui le moderne detengono l'eredità e pertanto alla prima occhiata molte di queste rappresentazioni oggi ci sono aliene. In questo tipo di mappa il mondo è ruotato di 90° antiorario e, come vuole la tradizione cristiana, come perno ha usato il centro della cultura religiosa, la città di *Gerusalemme*; in tal modo inserisce l'Europa in basso a sinistra e l'Africa a destra, con il Nord a Sinistra, il sud a destra, l'Est in alto e l'Ovest in basso. Allo stesso modo questo corrisponde alla disposizione architettonica delle cattedrali romaniche e gotiche, che avevano quasi sempre un orientamento dell'abside rivolto a oriente.



**Figura 51**    **Mappe a T**

L'ecumene Cristiano a T, oltre ad essere circolare circondato dalle acque dell'oceano, utilizza anche altre forme come la quadrangolare del mappamondo del monaco agostiniano **Beato di Lièbana** (VIII sec.), ma anche forme ovali, ed altre che variano anche la ripartizione delle terre interne. In alcune mappe la terra non è suddivisa solo in 3 continenti ma è divisa in 4 parti. La divisione simmetrica si attua tramite una linea che rappresenta le acque del **Tanai**, antico nome del fiume **Don**, e del **Nilo**, e da un'altra linea perpendicolare che rappresenta il **Mediterraneo** e la **catena del Tauro** (Turchia). In sintonia con vecchie filosofie greche, dato che l'Universo era stato creato secondo un disegno divino, la rappresentazione doveva soddisfare la caratteristica di un mondo simmetrico. Questo tipo di mappe ha imperversato per tutto il medioevo, probabilmente fornendo un alibi a chi sosteneva, come la Chiesa, che il mondo fosse piatto. Ma tale forma di rappresentazione in realtà è stata adottata non per essere utilizzata per la navigazione, per identificare cioè la longitudine, ma come forma estetica. In molti vantano la buona tesi che qualsiasi carta, anche moderna, sia inevitabilmente piatta e pertanto anche queste carte possono essere lette nel modo errato, ma credo che la confusione non sia tanto nella proiezione strana, ma nell'aver una forte similitudine con la vecchia ideologia greca, quando la terra si riteneva piatta e circolare. La verità potrebbe essere anche un'altra: in questo periodo erano ben pochi i viaggi che venivano intrapresi e pertanto si cercava di soddisfare le curiosità immaginando. Si assiste alla produzione di opere come "*Imagines mundi*" che cerca di colpire, di meravigliare il lettore, raccontando di paesi lontani e inaccessibili; libri scritti da persone che non avevano mai visto di persona i luoghi di cui parlavano ed inevitabilmente la tradizione diventava più veritiera dell'esperienza. Con questo intento le carte geografiche non volevano dettagliare e definire esattamente la forma della Terra per fornire alla perfezione tutte le città del mondo, ma dovevano estrapolare esclusivamente un messaggio simbolico Cristiano. Serva come esempio la "*Rudimentum Novitiorum*" di un miniatore del 1475: importante è affermare il potere temporale cristiano, con al centro della Terra

Gerusalemme, non solo in campo spirituale ma anche cartografico; senza interessarsi di come si arriva alla città. Per dare spazio alle conoscenze cristiane e bibliche le informazioni geografiche diventavano limitate, si evidenziavano i luoghi sacri e si imponeva il dominio cosmografico biblico o di alcuni scrittori cristiani. Ma non dobbiamo ancora correre il rischio di criticare troppo, questa rappresentazione è da considerarsi come una moda, nello stesso momento per la navigazione venivano utilizzate delle mappe che rappresentavano molto bene tutte le linee di costa del Mediterraneo, anche se Gerusalemme non era al centro dell'Universo. La questione era di vitale importanza, se i marinai non volevano correre il rischio di perdersi. A riprova **Marco Polo** (Venezia 1254 - 1324 Venezia) infine è giunto in Cina e i Crociati sono sbarcati a Gerusalemme. Pertanto vi erano mappe scientifiche, contrapposte a mappe che rispondevano ad una richiesta di fantasia per il pubblico come la "*Chronica di Norimberga*" del 1493, una carta cartograficamente quasi accettabile, ma accompagnata da vari mostri leggendari misteriosi che si raccontava vi abitassero. Questa mania dei mostri poi sopravviverà al medioevo. Allo stesso modo non deve essere presa come prova la mappa circolare a T, per avvallare la tesi che in quel periodo, o che il cartografo considerassero la terra come piatta. Nel VII° secolo dopo Cristo abbiamo un teologo arcivescovo e storico spagnolo, **santo Isidoro di Siviglia** (Siviglia 570 - 636), in grado di eseguire calcoli per determinare la lunghezza dell'equatore, stimandola in 80.000 stadi.



**Figura 52** Mappa a T di Isidoro di Siviglia

Disegna una serie di mappe circolari della terra a T, vedere fig. 52, ma non è pensabile che si fosse cimentato nel calcolare la lunghezza del parallelo, se non credeva che la terra fosse sferica. Allo stesso tempo perfino gli arabi che erano più avanti dell'Occidente, che avevano portato avanti e sviluppato le conoscenze elleniche, avevano carte geografiche con i riferimenti cardinali ribaltati. Che dire poi della mappa del cinquecento di **Peter Bienewitz**, detto **Pietro Apiano** (Leisnig 1495 - 1552 Ingolstadt) nella sua "*Cosmographia Petri Apiani, per Gemmam Frisium ...*" dispone il Nord in basso e il Sud in Alto. Nello stessa opera, Apiano suggeriva l'uso delle distanze lunari per misurare la longitudine; in un'opera successiva, l'*Astronomicum Caesareum* (1540), richiamava all'uso delle eclissi solari per lo stesso scopo. In tutti questi tipi di carte cristiane della terra, ogni rapporto di distanza o dimensione non ha significato, non ha importanza mostrare esattamente quanto distano due luoghi ma si deve esaltare un'interpretazione figurativa simbolica, biblica della terra. I mappamondi riportano alcune fonti di base ereditate dalle conoscenze ellenico-romane e in numero maggiore figure e nomi come il Paradiso Terrestre con Adamo ed Eva, l'Arca di Noé o la



Torre di Babele che s'inseriscono in qua e là sul territorio. Il manoscritto conservato nella biblioteca Royale di Bruxelles dell'opera di "*Les Fleurs des Histories*" di **Jean Mansel**, attribuibile alla metà del XV secolo, ci mostra una mappa mundi con la Terra suddivisa fra i tre figli di Mosé: l'Asia a Sem, l'Europa a Cam e l'Africa a Jafet. Fra le tante rappresentazioni delle carte cristiane circolari abbiamo alcune forme considerabili eretiche che mostrano gli antipodi. **Beda il venerabile** nel VII secolo d.C. suddivide il mondo in 2 zone climatiche di cui una agli antipodi, anche se considerata irraggiungibile. Chi crede agli antipodi, per forza di geometria deve credere ad una terra sferica, e a dimostrazione che in questo periodo nella Chiesa cristiana regnava la confusione delle idee e delle forme su tali mappe, **San Beato di Lièbana** (VIII sec.) sul "*Commentarius in Apocalypsim*", scritto nel 776, illustra una terra circolare con una mappa mundi quadripartita con "*quarta pars, al di là dell'Oceano*", disegna a destra del Mar Rosso, la quarta parte del Mondo, soggetta al calore del sole. Separata dall'Oceano equatoriale, nella zona australe esiste un continente inesplorato, che bilancia i tre continenti noti, situati a nord dell'equatore. Questa è abitata, o può essere popolata dalle favolose creature degli Antipodi, uscendo dallo schema di base cristiano tripartito delle mappe a T. Pertanto una mappa circolare, considerata dai posteri piatta, con all'interno gli antipodi (argomento controverso e a volte condannato dalla Chiesa), ma che dimostra chiaramente una cultura sferica. La "*Quarta pars*" è fuori dal modello interpretativo biblico, e il mappamondo dello spagnolo cristiano **Beatus** si ritiene essere un compromesso tra la cosmologia cristiana e la tradizione ellenica, molto probabilmente a causa della presenza degli arabi che costringeva ad una convivenza con concezioni del mondo classico greco. Il "*Commentario all'apocalisse*" ebbe un successo notevole dato che fu copiato per più di cinque secoli e arricchito con straordinarie miniature che rappresentano un bell'esempio di arte ispanica.

## 4.16) Riscoperta della cultura ellenica

### 4.16.1) Il salvataggio Arabo

Nei secoli bui del medioevo, nella zona del Mediterraneo, la vera cartografia scientifica, fu sviluppata solo dagli Arabi, che si occuparono della produzione di globi celesti in metallo e di carte nautiche. Il problema geografico della correttezza della forma della terra e della longitudine era legato strettamente alle necessità pratiche dei commerci e delle campagne militari che nell'Impero Romano e nel primo Medioevo cristiano vengono meno. Ciò che non fecero i Romani e i loro eredi, lo perpetuarono gli arabi e i bizantini che nel frattempo continuarono a viaggiare e quindi per questi popoli era importante rifarsi a un modello più fedele della realtà cartografica. In tal modo, mentre l'Europa faceva i conti con il cristianesimo della Chiesa cattolica rinnegando le conquiste scientifiche, e quindi anche geografiche, del mondo greco, in oriente, al contrario si era affascinati dalla cultura ellenica. **Bagdad** divenne un centro importante per tutte le scienze, da quelle geografiche, astronomiche a geometriche. Quello che rimaneva della *scuola di Alessandria*, nel 642, dopo la conquista da parte degli arabi, fu trasferita ad *Antiochia* per iniziativa del **Califfo Omar II**. Successivamente fu trasferita nel 720 ad *Harran* in Mesopotamia. I califfi quando fondarono la città di Bagdad nel 762 d.C. vollero che diventasse il centro della cultura orientale. Si procurarono in ogni modo il maggior numero possibile dei testi greci traducendoli in arabo. I primi libri ad essere tradotti furono gli "*Elementi di Euclide*" e l' "*Almagesto*" di **Tolomeo**. Il Califfo **Al Mamun** (813-833) era un sostenitore della cultura, fondò la casa della saggezza nel 832 per diffondere le scienze, vi raccolse una ricca raccolta di libri e fece costruire un osservatorio astronomico. Grazie a tale



impegno culturale, il X secolo arabo vide anche un forte sviluppo cartografico, furono compilate carte nautiche del Mediterraneo e dell'oceano Indiano corredate di latitudine e longitudine molto precise. Al fine di compilare una grande carta del mondo conosciuto, il califfo fece eseguire una serie di tentativi di misura della lunghezza del meridiano proseguendo il lavoro dei greci, con maggior precisione. Per tale impresa venne adottato il metodo di **Eratostene**: la misura fu eseguita in due luoghi differenti a una distanza di 1 grado. **Al Masudi** (Abul-Hassan Ali Ibn Al-Hussain Al-Masudi, Baghdad 871 - 957 ), nel libro "Le praterie d'oro" riassume le teorie correnti mostrando un forte legame con i testi ellenici: "*la terra è rotonda, con il suo centro sull'asse della sfera; l'aria la circonda da tutti i lati e, paragonata alla sfera dello zodiaco, è piccola come un punto matematico*". Illustra i 7 climi dal reequatore all'isola di Tule, riportando ciascuno di essi ad un pianeta e ad un segno dello zodiaco, in modo simile al *Tetrabiblos* di **Tolomeo**.

#### **4.16.2) La geografia del tardo medioevo**

Nel Medioevo le mappe erano puramente indicative, come le istruzioni della "*Guida dei pellegrini*" a Santiago di Compostela: "*se vuoi andare da Roma a Gerusalemme procedi verso sud e chiedi strada facendo*". Le nozioni geografiche e astronomiche non erano prevalenti, la visione del cosmo ufficiale era quella teologicamente più attendibile. Ma tale approssimazione non significa che non conoscessero la geografia scientifica. Quando grazie agli arabi, tra XII e XIII secolo, si hanno traduzioni di testi come l' "*Almagesto*" di **Tolomeo** e poi il "*De coelo*" di **Aristotele**, in Europa la forma della terra era già definita in modo corretto, non era in discussione, si riteneva essere decisamente sferica. Nel Medioevo avanzato troviamo molti manuali di riferimento che pongono la forma della terra come una conoscenza acquisita. Il poligrafo medievale **Honorius Augustodunensis** (Onorio di Autun o Onorio Augustodunense, XII sec. Canterbury) redige un manualetto l'*Elucidarius*, una guida destinata probabilmente a religiosi di provincia, i quali si servivano di queste opere come riferimento e per preparare le prediche. Fu pubblicato verso il 1120 in Germania meridionale e scritto in latino, parla della forma della terra indirettamente come se non fosse in discussione ma una cosa ovvia, paragona la struttura dell'uomo come un microcosmo a quella dell'Universo come il macrocosmo, affermando che la testa dell'uomo ha la forma di una palla poiché il mondo stesso ha la forma di una palla. Allo stesso modo un altro simile libretto successivo, scritto in tedesco dai capitani di Enrico il Leone, il "*Lucidarius*", afferma banalmente che la Terra è *sinwel* (rotonda). In quest'epoca si può rilevare come una delle forme più comuni di paragone della forma della terra è la mela, in una edizione tedesca del libro di Sidrac, pubblicato anche in lingua volgare nel XIII secolo e molto diffuso alla fine del Medioevo, è scritto che "*see ist rond also eyn appeh*" (essa è rotonda come una mela). In modo inequivocabile nella prima metà del XIII secolo il manuale di astronomia più diffuso nelle università medievali e fino all'inizio dell'epoca moderna è il "*Liber de sphaera*" (Trattato della sfera) dell'astronomo matematico inglese **Giovanni di Sacrobosco** (nome italianizzato di John of Holywood detto anche Johannes de Sacrobosco, 1195 ca. - Parigi 1244 o 1256 ca.). Troviamo esposte le basi della geometria e dell'astronomia, ed in modo diretto fornisce diverse prove evidenti della sfericità della Terra e di altri corpi celesti. Risolvere le precedenti prove elleniche di Aristotele, l'ombra tonda durante le eclissi di Luna o di Sole, la forma curva della superficie dei mari e delle terre emerse e spiega come a bordo di una nave, un osservatore in piedi sul ponte perda di vista la terraferma prima di uno posto in cima all'albero maestro. Viceversa, una nave che si allontana dalla riva viene persa di vista prima da un osservatore sulla spiaggia che non da uno in cima a una torre. Sia da parte dei geografi arabi che cristiani, oltre al paragone della mela in questo periodo si evolve anche la rappresentazione della terra come se fosse un uovo. Partendo dalla suddivisione dell'Universo sub-lunare aristotelico

in 4 elementi, terra acqua aria e fuoco, simbolicamente venne rappresentato dall'uovo come il tuorlo, albume, membrana, e guscio. Questa analogia del cosmo è ripresa anche nell' "*Imago Mundi*" di **Honorius** dove l'autore esegue dei paragoni dimensionali più realistici poiché definisce una terra più piccola paragonandola alla semenza contenuta nel tuorlo, il quale rappresenta l'acqua, l'aria l'albume e il guscio l'etere. Questi paragoni denunciano come evidentemente si accettava la forma sferica della Terra e che l'uovo serviva a spiegare il modello del cosmo medioevale le sue dimensioni e la sua struttura stratificata. Perfino Dante che entra nell'imbuto infernale ed esce dall'altra parte vedendo stelle sconosciute ai piedi della montagna del Purgatorio ci denuncia come si sapeva benissimo che la terra era sferica. Il mondo culturale medioevale era suddiviso in caste di sapere, i dotti si tenevano la verità, e il popolo comune doveva essere confuso, doveva seguire le rappresentazioni della Chiesa.

### 4.16.3) Risveglio Occidentale

Vi sono state più concause che hanno portato alla riscoperta dei testi ellenici. Nel XII secolo dopo vari secoli di interruzione riprendono i commerci con l'estremo oriente. Riaprendo la via della seta, si riallacciano contatti tra occidentali e l'India e la Cina. Per l'Europa è una svolta, si riaccende nuova vitalità, molti avventurieri si avviano a esplorare e commerciare con altre civiltà lontane. Un esempio è il viaggio di **Marco Polo** tra il 1260-1295. Grazie alle nuove informazioni dovute a tale apertura la geografia occidentale riprende nuovo vigore. Quando la Spagna fu sottoposta alle conquiste arabe, gli occidentali riscoprono la cultura ellenica. La Spagna non più sottoposta al potere Temporale della Chiesa, apre biblioteche che raccolgono le opere importanti di filosofi e saggi greci provenienti dall'Asia minore e dalla Siria, tramandati in lingua araba. Appena questi testi furono disponibili, si assistette ad una corsa da tutta Europa alla traduzione di queste opere, a tal punto che si formarono scuole da Toledo a Pisa, Roma, in Sicilia per la traduzione dall'Arabo al latino. In particolare la Geografia e l'Astronomia sotto il nome di **Almagesto** (il "*massimo*" in arabo) di Tolomeo vennero introdotte nel mondo della cultura europea nel secolo XII dal geografo l'arabo **Abu Abd Allah Muhammad al Idrisi** (Ceuta 1099-1166 o 1180 Sicilia). Molte traduzioni dall'arabo erano già cominciate prima dell'anno mille ad opera di molti personaggi come il monaco lotaringio **Giovanni di Gorze** (953 - 956), **Lupitus Barchinonensis** (983 - 990) e moltissimi altri. Agli inizi del 1200 cominciarono ad diminuire le traduzioni dall'arabo per quelle direttamente dal greco. Dato che la Chiesa lo inserì nel proprio insegnamento, tutte queste opere determinarono la realizzazione del "*Corpus Aristotelicum*" e "*Aristotelicum novum*" che condizionerà lo sviluppo del pensiero europeo per alcuni secoli. Questi testi influenzano anche **Restoro d'Arezzo** il quale nell'anno 1282 è autore di una raccolta scientifica, "*La composizione del mondo con le sue cascioni*"; il primo testo di questo genere scritto in volgare italiano, in dialetto aretino. Vi troviamo la descrizione della natura con un'impronta aristotelica, con descrizioni che vanno dalla cosmologia, astronomia, geografia, meteorologia, astrologia alla descrizione della mineralogia, Zoologia, Botanica. La prima parte elenca le osservazioni naturalistiche e fatti considerati sicuri, nella seconda parte se ne cercano le cause partendo dalle stelle verso la terra. **Restoro** descrive l'idea antica non aristotelica, ma ellenistica che i metalli, come la suddivisione dei climi della terra devono essere 7 in quanto 7 è il numero dei pianeti "*rettori*" ai quali possono essere associati. Nello stesso periodo abbiamo **Alfragano** (Ahmad ibn Muhammad ibn Kathir al-Farghani IX Sec. Turkestan) che scrive "*Il libro dell'aggregazione delle stelle*" in 30 capitoli, con ordine inverso parte dalla terra per descrivere la struttura generale dell'Universo. Comincia con il descrivere la suddivisione del calendario per passare alla forma sferica del cosmo e della terra di cui ne è il centro attraverso una descrizione dei moti. Nella geografia descrive la suddivisione dei climi in funzione

dell'inclinazione dell'orbita e del tempo d'insolazione. Altra occasione per riprendersi il sapere antico avviene dopo la metà del XV secolo quando Bisanzio si trova a combattere con i Turchi. Questo ha facilitato la fuga verso occidente di parte della vita intellettuale del paese verso occidente. In questo periodo l'Italia arricchita dai commerci ha risorse disponibili e sente la necessità di recuperare i manoscritti rari frugando nelle biblioteche dell'Impero d'Oriente per salvarli dalla minaccia Turca. Questo insieme di testi arabi e ellenici va a costituire il punto di partenza della rinascita dell'astronomia e della cultura in generale dell'Europa. In pratica è come se per molte conoscenze il tempo europeo si fosse assopito per quasi 1500 anni, dall'epoca di Cristo. Anche se con i freni applicati, la civiltà occidentale si risveglia per riprendersi il tempo perduto e a poco a poco ricostruisce un'insieme enorme di conoscenze che la porta successivamente ad innalzarsi su tutte le altre culture, bruciando una serie di tappe fondamentali verso una immensa mole di conoscenze che, ricambiando l'antico favore, generosamente poi condivide con tutte le altre nazioni che invece tale blocco non avevano avuto, fornendo un valido aiuto ai successivi tentativi alla risoluzione del problema della longitudine.

## FINE I° PARTE