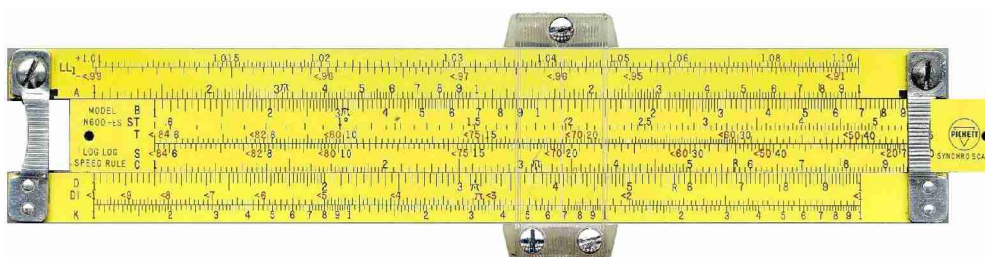




## I calcolatori analogici

***“Houston, Tranquility Base here. The Eagle has landed”***

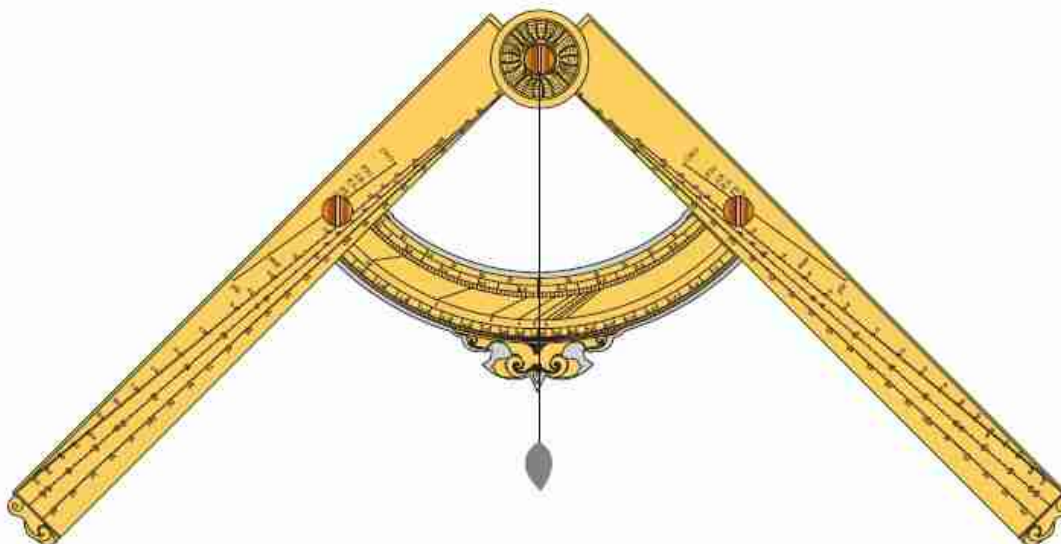
così Armstrong annunciava il 20 luglio 1969 l'atterraggio sulla luna. Uno dei calcolatori di bordo era un regolo tascabile, in dotazione a tutte le missioni Apollo. Inventato nel 1600 questo strumento arrivò nello spazio: una storia ormai dimenticata, superata da un'era digitale che sembra esistere da sempre.



***Regolo Pickett N600 ES, della stessa serie progettata per gli Apollo***

## **Il Compasso di Galileo**

Nel XVI° secolo lo sviluppo delle scienze rese necessario il calcolo con grandi numeri e gli antichi sistemi, come la moltiplicazione *“per gelosia”* illustrata a pagina 65, non erano più sufficienti. Molti cercarono una soluzione ma, alla fine del '500, Galilei fu forse il primo a sviluppare uno strumento che aiutasse a risolvere rapidamente le operazioni matematiche: moltiplicazione, divisione, radici, calcolo di aree e volumi, misura dei calibri dei cannoni. Il suo *“Compasso geometrico et militare”*, basato sulla proporzionalità dei lati omologhi di due triangoli, era molto pratico per il puntamento dei pezzi d'artiglieria e Galileo lo pubblicizzò con metodi modernissimi, vendendolo in tutta Europa accompagnato da un esauriente libretto di istruzioni intitolato *“Le operazioni del compasso”*. Attorno al 1620 Edmund Gunter vi aggiunse una scala logaritmica per eseguire con più precisione moltiplicazioni e divisioni dandogli la forma definitiva. Questo modello, conosciuto come Sector (in italiano Compasso di Proporzione), rimase in dotazione nella Royal Navy fino alla II° guerra mondiale.



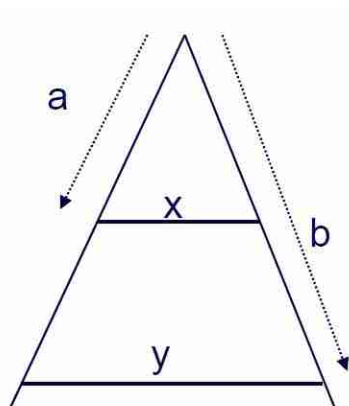
***Riproduzione del Compasso di Galileo (© Museo Galileo - Firenze)***



***Sector con scale logaritmiche, ca. 1850***

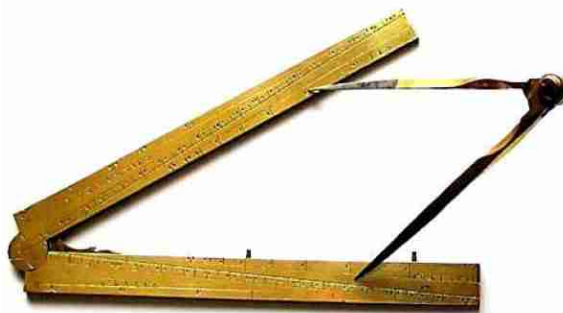
## Scheda - Calcolare con il Compasso di Galileo

Il Compasso di Galileo è uno strumento analogico dove le operazioni sono sostituite dalla misura di valori geometrici: il suo funzionamento si basa sulla proporzionalità dei lati omologhi di due triangoli.



### Teorema di Euclide

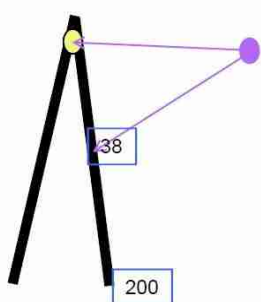
$$\frac{a}{x} = \frac{b}{y}$$



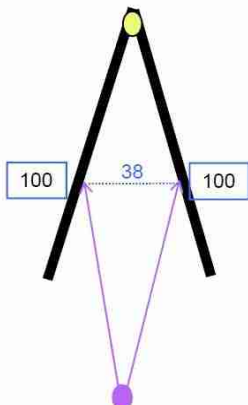
Vediamo come si usa la scala delle parti uguali, per effettuare le misure serve un normale compasso.

Esempio:  $81 \times 38$  diventerà  $\frac{81}{y} = \frac{100}{38}$

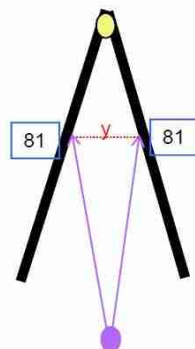
Misurare 38



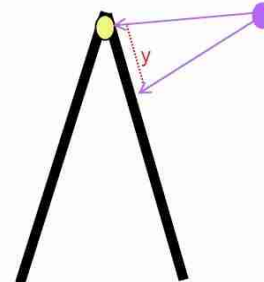
Compasso aperto a 38 sulla gradazione 100



Misura di y sulla gradazione 81



Misura di y risultato = 100 y



Le varie scale permettono di effettuare molti altri calcoli, le principali sono:

- linea delle parti uguali: per eseguire moltiplicazioni e divisioni;
- linea dei piani: per estrarre radici quadrate da 1 a 64;
- linea dei solidi: per estrarre radici cubiche da 1 a 64;
- linea dei poligoni: per calcolare il lato di un poligono regolare iscritto in una circonferenza;
- linea dei metalli: per determinare il diametro delle palle di cannone conoscendone il peso;
- linea dei pesi: per stimare il peso di una palla di cannone conoscendone il diametro;
- linea delle corde, graduata da 0° a 180°: per misurare angoli ed effettuare calcoli nautici.

Il Sector di Gunter ha inoltre:

- linea delle secanti, graduata da 0° a 76°;
- linea dei seni, graduata da 0° a 90°;
- 2 linee delle tangenti da 0° a 45° e da 45° a 75°;
- 2 o 3 scale logaritmiche per eseguire più facilmente moltiplicazioni, divisioni, potenze e radici.

Per materiale ed immagini si ringrazia Gonzalo Martin: [www.photocalcul.com](http://www.photocalcul.com).

## Calcolare stanca: l'invenzione dei logaritmi

Il matematico John Napier (Nepero) sosteneva: *“Esequire dei calcoli è operazione difficile e lenta e spesso la noia che ne deriva è la causa principale della disaffezione che la gente prova nei confronti della matematica”*. Trovò una soluzione nel 1614 con la scoperta dei logaritmi, subito pubblicati nel *“Mirifici logarithmorum canonicis descriptio”*, in grado di esprimere qualsiasi numero positivo tramite potenze. Visto che il prodotto di due potenze con uguale base è una potenza con la stessa base ed esponente dato dalla somma degli esponenti, coi logaritmi (dal greco logos e arithmos) moltiplicazioni e divisioni si possono effettuare come semplici addizioni e sottrazioni. Napier rivoluzionò inoltre il modo di calcolare introducendo l'uso della virgola nella notazione decimale.

Il calcolo scientifico nasce non a caso in Inghilterra: la sua economia era legata alla navigazione e bisognava trovare strumenti adeguati per calcolare il punto nave, lo stesso impulso che le spedizioni spaziali diedero ai calcolatori elettronici. In Spagna il problema era meno sentito in quanto le rotte per il Centroamerica si svolgevano per latitudine necessitando di pochi calcoli (vedere le pagine 94 e 126). Nel 1617 Henry Briggs, dopo diversi incontri con Napier, razionalizzò i logaritmi organizzandoli più praticamente in base 10 e stampandoli in forma di tabelle, da lui chiamate *“tavole”*, che permettevano di calcolare fino alla quattordicesima cifra decimale: quanto una calcolatrice di oggi! In questa opera troviamo già il termine *“mantissa”* per le parti decimali ma la prima esposizione sistematica è del 1742, con la pubblicazione della *“Table of Logarithms”* di William Gardiner. Per moltiplicare due numeri basta cercare i loro logaritmi e sommarli: il risultato è il numero il cui logaritmo corrisponde alla somma. In pratica il logaritmo di un numero in una certa base è l'esponente a cui bisogna innalzare la base per ottenere il numero stesso. Il logaritmo di 100 in base 10 è 2 ( $10^2 = 100$ ) e  $10.000 \times 1.000$  si trasforma in  $10^4 \times 10^3 = 10^{4+3} = 10^7$ . La moltiplicazione e la divisione degli esponenti permettono di trovare quadrati, cubi e radici. Le cose si complicano quando trattiamo numeri diversi da 10 ed occorrono tomi che riportino oltre un milione di valori, ma le tavole ebbero lunga vita: erano economiche e la loro precisione le rendeva indispensabili ad astronomi e naviganti. Vennero costantemente migliorate e dal 1959 elaborate al computer; le pubblicazioni cessarono attorno al 1975 ed oggi i logaritmi si utilizzano principalmente per risolvere equazioni esponenziali.

Calcolare coi logaritmi è facile, compilare le tavole no. Molti scienziati e navigatori ringraziarono nei loro libri gli oscuri matematici che passarono la vita lavorando manualmente con grande fatica.

The image shows two pages of a logarithmic table from 1614. The pages are numbered 87 and 87. The table is organized into columns: Gr., Sinus, Logarithmi, Differentia, Logarithmi, and Sinus. The rows are numbered from 0 to 30. The table provides values for sine, logarithms, and differences for various numbers.

Gr.	2	+	-	Gr.	2	+	-
min	Sinus	Logarithmi	Differentia	Logarithmi	Sinus		
0	348995	33552817	33546723	6094	9993008	60	
1	351902	33469860	33463664	6196	9993806	59	
2	354809	33387888	33381289	6299	9993703	58	
3	357716	33305993	33299590	6403	9993599	57	
4	360623	33225056	33218549	6507	9993495	56	
5	363530	33144470	33138158	6612	9993390	55	
6	366437	33065128	33058410	6718	9993284	54	
7	369344	32986107	32979282	6825	9993177	53	
8	372251	32907712	32900779	6933	9993069	52	
9	375158	32829923	32822881	7042	9992960	51	
10	378064	32752740	32745588	7152	9992850	50	
11	380971	32676149	32668887	7262	9992740	49	
12	383878	32600139	32592866	7373	9992629	48	
13	386785	32524706	32517221	7485	9992517	47	
14	389692	32449837	32442239	7598	9992404	46	
15	392598	32375526	32367814	7712	9992290	45	
16	395505	32301761	32293934	7827	9992175	44	
17	398412	32228539	32220596	7943	9992060	43	
18	401318	32155852	32147793	8059	9991944	42	
19	404225	32083692	32075516	8176	9991827	41	
20	407131	32012045	32003751	8294	9991709	40	
21	410038	31940909	31932496	8413	9991590	39	
22	412944	31870276	31861743	8533	9991470	38	
23	415851	31800141	31791487	8654	9991349	37	
24	418757	31730492	31721716	8776	9991228	36	
25	421663	31661332	31652434	8898	9991106	35	
26	424570	31592644	31583623	9021	9990983	34	
27	427476	31524424	31515279	9145	9990859	33	
28	430382	31456672	31447402	9270	9990734	32	
29	433288	31389371	31379975	9396	9990608	31	
30	436194	31322524	31313001	9523	9990482	30	

Due tavole della *“Mirifici logarithmorum canonicis descriptio”*, 1614

## Scheda - Calcolare con i logaritmi

Calcolare coi logaritmi è un procedimento meccanico che non impegna la mente ma utilizzare le tavole richiede molta pratica. Proviamo ad eseguire  $10,34 \times 1.347$ : per prima cosa dobbiamo trovare

N.	L.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	00	000	043	087	130	173	217	260	303	346	389
101		432	475	518	561	604	647	689	732	775	817
102		860	903	945	988	*030	*072	*115	*157	*199	*242
103	01	284	326	368	410	452	494	536	578	620	662
104		703	745	787	828	870	912	953	995	*036	*078
105	02	119	160	202	243	284	325	366	407	449	490
106		531	572	612	653	694	735	776	816	857	898

il logaritmo di 10,34. La tavola ci dà solo la parte decimale del logaritmo (mantissa) mentre la parte intera è data dalla potenza di dieci del numero, quindi 1.

Per trovare la parte decimale togliamo la virgola al numero, che diventa 1034: la colonna N indica le prime 3 cifre, la quarta sarà nelle colonne numerate da 0 a 9.

Le prime due cifre della parte decimale si trovano nella colonna L in corrispondenza del 103 della colonna N (01), le altre 3 cifre si trovano sulla stessa riga nella colonna del 4 (452). La parte decimale sarà quindi 01452 e il logaritmo completo 1,01452.

131		727	760	793	826	860	893	926	959	992	*024
132	12	057	090	123	156	189	222	254	287	320	352
133		385	418	450	483	516	548	581	613	646	678
134		710	743	775	808	840	872	905	937	969	*001
135	13	033	066	098	130	162	194	226	258	290	322
136		354	386	418	450	481	513	545	577	609	640

Ora, allo stesso modo, andremo in caccia del logaritmo di 1.347: la parte intera è 3 ( $10 \times 10 \times 10 = 1.000$ ) e le prime 3 cifre 134. Sulla linea 134 manca il valore nella colonna L e prenderemo l'ultimo valore prima

della linea 134 (12). Le altre 3 si trovano sulla riga 134 di N nella colonna 7 (937). La parte decimale sarà quindi 12937 ed il logaritmo completo 3,12937.

Adesso sommiamo il logaritmo di 10,34 al logaritmo di 1.347 (nel caso della divisione si deve sottrarre):  $1,01452 + 3,12937 = 4,14389$ . Il prodotto tra 10,34 e 1.347 sarà il numero il cui logaritmo è 4,14389, cerchiamolo nelle tavole.

137		672	704	735	767	799	830	862	893	925	956
138		988	*019	*051	*082	*114	*145	*176	*208	*239	*270
139	14	301	333	364	395	426	457	489	520	551	582
140		613	644	675	706	737	768	799	829	860	891
141		922	953	983	*014	*045	*076	*106	*137	*168	*198
142	15	229	259	290	320	351	381	412	442	473	503
143		534	564	594	625	655	685	715	746	776	806
144		836	866	897	927	957	987	*017	*047	*077	*107
145	16	137	167	197	227	256	286	316	346	376	406
146		435	465	495	524	554	584	613	643	673	702
147		732	761	791	820	850	879	909	938	967	997
148	17	026	056	085	114	143	173	202	231	260	289
149		319	348	377	406	435	464	493	522	551	580
150		609	638	667	696	725	754	782	811	840	869
N.	L.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

La parte intera del logaritmo è la potenza di 10 del numero cercato (4); con la parte decimale (14389) troveremo le altre cifre.

La parte decimale inizia con le 2 cifre (14), le troviamo nella colonna L e poi cercheremo le altre 3 cifre (389) nelle colonne seguenti numerate da 0 a 9. Il 389 manca, ci sono invece il 364 nella colonna 2 ed il 395 nella colonna 3 della riga 139 di N: il risultato sarà situato approssimativamente fra 13.920 e 13.930.

Per ottenere la quinta cifra esatta andremo ad interpolare con le tabelline P.P. (partes proportionales).

	32	31	30
1	3,2	3,1	3,0
2	6,4	6,2	6,0
3	9,6	9,3	9,0
4	12,8	12,4	12,0
5	16,0	15,5	15,0
6	19,2	18,6	18,0
7	22,4	21,7	21,0
8	25,6	24,8	24,0
9	28,8	27,9	27,0

P. P.

Dapprima dobbiamo trovare la differenza tra 395 e 364 (i 2 numeri alle colonne 2 e 3)  $395 - 364 = 31$  e consulteremo la tabella P.P. alla colonna 31.

Poi cercheremo la differenza tra 389 (il valore non trovato) e 364 (il più piccolo dei 2 trovati):  $389 - 364 = 25$  guardando nella colonna 31 per il valore più vicino al 25 (24,8). Nella prima colonna in corrispondenza di 24,8 troviamo il numero 8 ed il risultato esatto sarà 13.928: infatti  $10,34 \times 1.347 = 13.928$ .

Oggi sembra un sistema poco pratico ma Nepero scriveva "Ho cercato usando tutti i mezzi che avevo a disposizione e con le forze del mio intelletto di rendere più agevole e spedito il calcolo elaborando il metodo dei logaritmi a cui ho dedicato molti anni di studio". Un obiettivo raggiunto: 200 anni più tardi Pierre-Simon de Laplace sosteneva ancora che "il lavoro di Napier ha raddoppiato la vita di noi astronomi".

Per spiegazioni ed immagini si ringraziano Reto Ambrosini e Alessandro Margnetti.

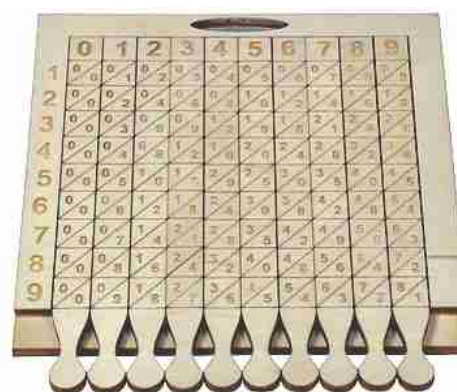
## I bastoncini di Nepero

Non pago della scoperta dei logaritmi Napier inventò inoltre i famosi "bastoncini", in inglese Napier's bones, presentati nel suo libro *"Rabdologiae"* (dal greco rhabdos e logos, cioè calcolo coi bastoncini) del 1617. Keplero li impiegò subito per calcolare le orbite dei pianeti affermando che gli avevano risparmiato 400 anni di fatiche: l'avventura del calcolo scientifico automatico era finalmente cominciata.

Per questo lavoro si ispirò ad un tipo di moltiplicazione inventato in India, molto diffuso nell'Europa medioevale ed ancora usato in Turchia, in cui le operazioni si effettuano riempiendo delle caselle divise a metà da una diagonale: scriviamo esternamente le cifre dei due fattori e in ogni casella, separando le decine dalle unità, scriveremo il prodotto dei numeri corrispondenti alla riga e alla colonna (es. in basso: 9 nella casella 3 (3x3), 15 nella casella 5 (3x5) ecc.). Sommiamo ora le cifre che si trovano sulla stessa diagonale a partire dall'angolo in basso a destra, riportando le decine alla diagonale successiva, ed avremo il risultato. In Italia questo procedimento venne battezzato *"per gelosia"* e il motivo lo troviamo nel *"Summa de Arithmetica"* (1494) di Luca Pacioli: *"Con il termine gelosia indichiamo quelle grate che si ha l'abitudine di mettere alle finestre delle case dove abitano delle donne affinché non si possano vedere con facilità"*. Napier sintetizzò questo sistema stampando i prodotti su bastoncini di legno o di avorio: le caselle erano precompilate e bisognava solo sommare. Al tempo infatti anche le persone erudite avevano difficoltà con le moltiplicazioni e questo strumento, che rivoluzionò il modo di calcolare, venne prodotto in mille varianti fino alla prima metà del novecento.

	2	3	5	
		0	1	3
		9	5	
			0	0
				0

	2	3	5	
0		0	1	3
	6	9	5	
7		0	0	0
	0	0	0	0
				0
				0



### **Moltiplicazione per gelosia ( $235 \times 30 = 7.050$ ) e i "bastoncini" precompilati**

Per eseguire le operazioni è necessario accostare i bastoncini ricreando ogni volta la grata e Napier propose un sistema più veloce, chiamato Prontuarium, che consisteva in un set di maschere forate grazie alle quali si individuava rapidamente la diagonale delle cifre da sommare. Il maneggio delle maschere risultò meno facile del previsto e nel 1668 Caspar Schott dispose le numerazioni in cilindri rotanti, inseriti all'interno di una scatola o "cistula", permettendo così di lavorare senza *"capitis defatigatio"*. Da notare l'uso del latino, al tempo utilizzato dagli studiosi di ogni nazionalità.

Napier propose anche una "scacchiera calcolatrice", che funzionava in base 2 pur non essendo un sistema digitale, ma questo originale sistema non ebbe alcun seguito pratico.

### **Scheda - Calcolare con i bastoncini di Nepero**

	2	3	5
	2	3	5
	4	6	10
	6	9	15

$\times 3$

Per effettuare  $235 \times 3$  accostiamo i bastoncini del 2, del 3 e del 5:

il risultato si deduce dalla terza riga, basta sommare in diagonale le cifre da destra verso sinistra. Vanno considerati gli eventuali riporti e quindi partendo da destra avremo 5, poi 0 ( $9 + 1$ ), poi 7 ( $6 + 1$  di riporto), invertiamo ed ecco il risultato: 705. Volendo invece eseguire  $235 \times 56$  si applica la proprietà distributiva al secondo fattore e si dissocia 50. Oggi sembra complicato ma i bastoncini facilitano di molto le operazioni con grandi numeri. Naturalmente si può anche dividere e la versione completa include una tavoletta per elevare a potenza ed estrarre radici.

Per l'immagine e le spiegazioni si ringrazia lo staff di [matematicamedie.blogspot.com](http://matematicamedie.blogspot.com).



**Ricostruzione della "cistula" di Schott, ca. 1668 (© Götz-Kenner) e una variante dei bastoncini inserita in un ventaglio, 1910 (© Stephan Weiss)**

### Scheda - I righelli di Genaille

X	5	9	3	7
2	0	0	6	6
1	1	9	7	5
3	1	6	8	0
2	7	9	1	3
4	0	0	6	2
1	1	7	3	9
2	2	8	4	0
3	3	9	5	1
5	0	5	5	5
1	6	6	6	6
2	7	7	7	7
3	8	8	8	8
4	9	9	9	9
6	0	4	8	2
1	1	5	9	3
2	2	6	0	4
3	3	7	1	5
4	4	8	2	6
5	5	9	3	7
7	0	3	1	9
1	6	4	2	0
2	7	5	3	1
3	8	6	4	2
4	9	7	5	3
5	0	8	6	4
6	1	9	7	5
8	0	0	2	6
1	1	3	4	7
2	2	4	5	8
3	3	5	6	9
4	4	6	7	0
5	5	7	8	1
6	6	8	9	2
7	7	9	0	3
9	0	5	1	5
1	6	2	8	4
2	7	3	9	5
3	8	4	0	6
4	9	5	1	7
5	0	6	2	8
6	1	7	3	9
7	2	8	4	0
8	3	9	5	1

Nel 1885 Henri Genaille ed Edouard Lucas elaborarono una versione dei bastoncini che permette di calcolare più rapidamente: consiste in un set di 11 righelli per la moltiplicazione e 11 per la divisione.

Eseguiamo come esempio  $5.937 \times 96 = 569.952$ : accostiamo alla sinistra del righello X i righelli 5, 9, 3, e 7.

Moltiplichiamo prima  $5.937 \times 6$ : il risultato si legge nella fascia del 6 cominciando dal numero più in alto del righello di destra. Seguendo le frecce, per questo esempio evidenziate in verde, si leggono nell'ordine: 2, 2, 6, 5 e 3, letti da sinistra a destra danno 35.622 ( $5.937 \times 6 = 35.622$ ).

Analogamente  $5.937 \times 9 = 53.433$  e quindi  $5.937 \times 90 = 534.330$ .

Sommiamo ora 35.622 e 534.330 trovando così il risultato: 569.952.

I righelli ebbero una discreta diffusione fino alla seconda guerra mondiale e ne vennero create molte varianti, alcune curiose come il modello meccanizzato di León Bollè, inventore eclettico già nominato a pagina 50.

Per materiale ed immagini si ringrazia lo staff di [www.giocomania.org](http://www.giocomania.org).

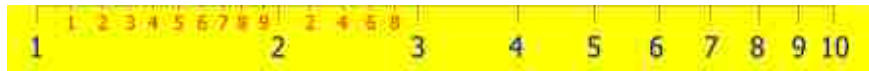
Q	0	Q	1	Q	2
0	0	0	1	0	0
5	5	5	6	5	5
0	0	0	0	0	0
3	3	3	4	3	3
6	6	6	7	6	6
0	0	0	0	0	0
2	2	2	3	2	2
5	5	5	5	5	5
7	7	7	8	7	7
0	0	0	0	0	0
2	2	2	2	2	2
4	4	4	4	4	4
6	6	6	6	6	6
8	8	8	8	8	8
0	0	0	1	0	0
1	1	1	2	1	1
3	3	3	3	3	3
5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6
8	8	8	8	8	8



**La grafica per le divisioni e i righelli di León Bollè, ca. 1889**

## Gli esordi del regolo calcolatore

Con logaritmi e bastoncini non si lavora rapidamente e nel 1620 Edmund Gunter, per sveltire i procedimenti, disegnò la scala logaritmica posizionando i numeri su di un righello ad una distanza dall'origine proporzionale al valore del loro logaritmo. Invece di cercare i logaritmi nelle tavole basta addizionarli con l'aiuto di un compasso. Per effettuare  $2 \times 3$  bisogna prima aprire il compasso fra 1 e 2 e poi, mantenendo la stessa apertura, poggiarne una punta sul 3: l'altra punta indicherà il risultato e per dividere opereremo al contrario. Questo strumento fu molto apprezzato e rimase in uso, con scale specifiche per risolvere i problemi nautici, a bordo delle navi fino agli inizi del '900. Gunter applicò la sua scala anche al Compasso di Galileo inventando il Sector visto a pagina 62.



**Scala logaritmica con spaziatura proporzionale dei numeri**

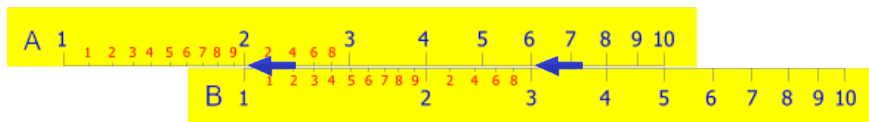


**Gunter's Scale, ca. 1680 (© MHS Oxford)**



**Moltiplicazione con la Gunter's Scale:  $2 \times 3 = 6$  (© Nathan Zeldes)**

La Gunter's Scale rimase in uso per 300 anni nonostante il regolo calcolatore fosse stato inventato già nel 1622. In quell'anno infatti William Oughtred duplicò le scale logaritmiche facendole scorrere parallelamente: un'innovazione che permette la lettura rapida e diretta del risultato.



**$2 \times 3$  con la scala raddoppiata di Oughtred**

Nel 1654 Robert Bissaker marcò le scale su righelli scorrevoli centrali, fino a quattro, per velocizzare i calcoli. Chiamato Gauging Rule questo regolo era specializzato nel misurare il contenuto dei barili di vino, birra o liquori e calcolarne il carico fiscale; subito migliorato da Thomas Everard venne poi commercializzato per oltre 2 secoli. Poco dopo Isaac Newton vi aggiunse una scala che permetteva di risolvere le equazioni cubiche ed alla fine del '600 il regolo era ormai divenuto adulto.

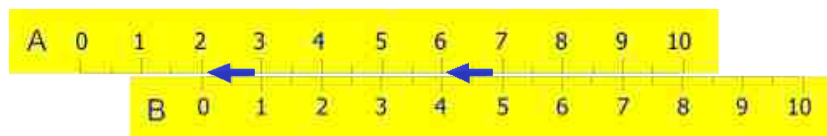


**Gauging Rule di Thomas Everard, metà del XVIII° secolo**



## Scheda - Calcolare con il regolo

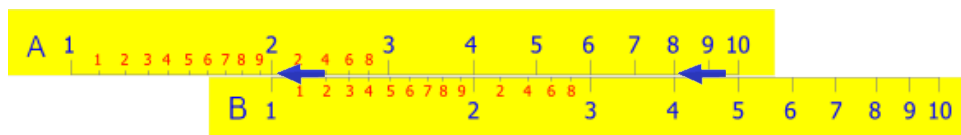
Il regolo, in inglese Slide Rule, sostituisce le funzioni matematiche con misurazioni lineari; vediamo per prima cosa come si può fare la somma utilizzando due comuni righelli graduati. Se si vogliono sommare 2 e 3 basta mettere lo 0 del righello B in corrispondenza del 2 del righello A, leggendo il risultato sul righello B sopra il 3:



Abbiamo quindi uno strumento in grado di effettuare addizioni (2+ con questa impostazione); per le sottrazioni basta invertire il procedimento:  $6 - 4 = 2$ .

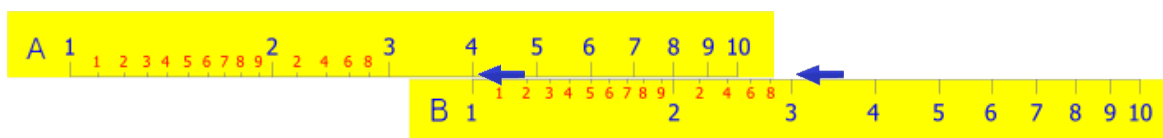
Dall'accuratezza della costruzione dipende la precisione dei risultati ma, anche dividendo ulteriormente le scale, non si riesce ad operare con numeri superiori a 100. E' chiaro quindi che per quanto riguarda l'addizione e la sottrazione il regolo è molto inferiore all'abaco ed a qualsiasi altro tipo di calcolatrice.

Il meccanismo appena illustrato diventa però potentissimo se le scale vengono disegnate utilizzando la successione logaritmica. Volendo eseguire  $2 \times 4$  allineiamo l' 1 della scala B in corrispondenza del 2 della scala A e leggeremo il risultato sulla scala A sopra il 4 della scala B.

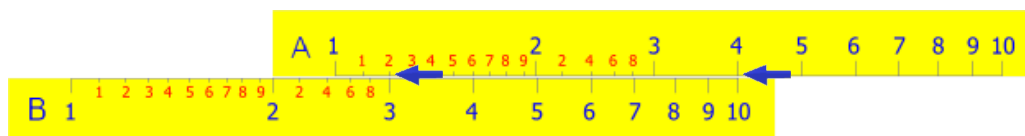


Abbiamo adesso uno strumento in grado di effettuare moltiplicazioni (2x con questa impostazione); l'immagine precedente mostra anche come eseguire  $8/4$ : basta mettere il 4 della scala B in corrispondenza dell' 8 della scala A e leggere il risultato sulla scala A sopra l' 1 della scala B.

Il regolo ha comunque dei limiti, infatti per calcolare  $4 \times 3$  imposteremo i righelli nel modo seguente:



Ma, come appare nella figura, andiamo fuori scala ed occorre reimpostare l'operazione utilizzando il 10 della scala B e non l' 1:



In questo modo otteniamo 1,2 ma il risultato corretto è 12, non 1,2. Infatti il regolo restituisce solo le cifre, per gli zeri e per posizionare la virgola bisogna sempre tenere presente il calcolo che si sta eseguendo. Le cose sono più difficili volendo eseguire  $1.237 \times 23$ : bisogna infatti ridurre a  $1,237 \times 2,3$  sforzandoci di approssimare con attenzione.

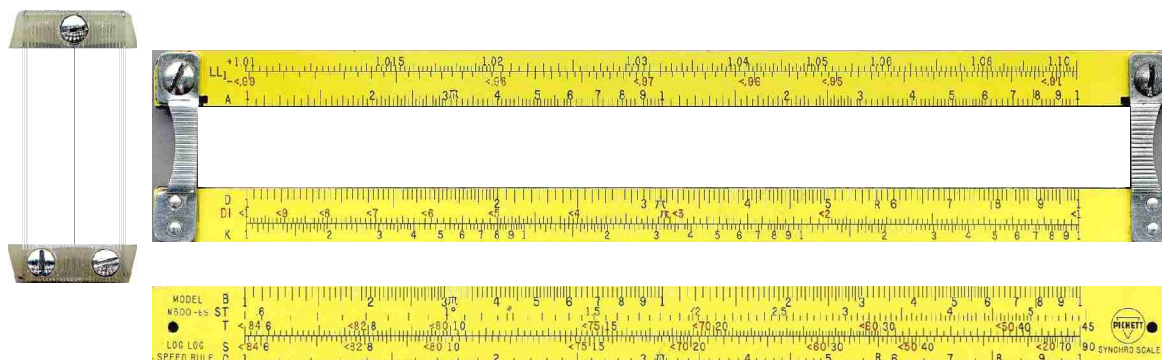
Questa spiegazione è estremamente essenziale però il regolo possiede molte altre scale (pag. 84) e ha le capacità di calcolo di una moderna calcolatrice. L'unico suo difetto è la scarsa leggibilità, ma una equazione come questa si risolve comunque in pochi minuti. Il segreto è: pratica, pratica, pratica ...

Provare un vero regolo non è difficile, si trovano per pochi euro e basta seguire con pazienza il manuale. Ne potete trovare alcuni di carta a pagina 137.

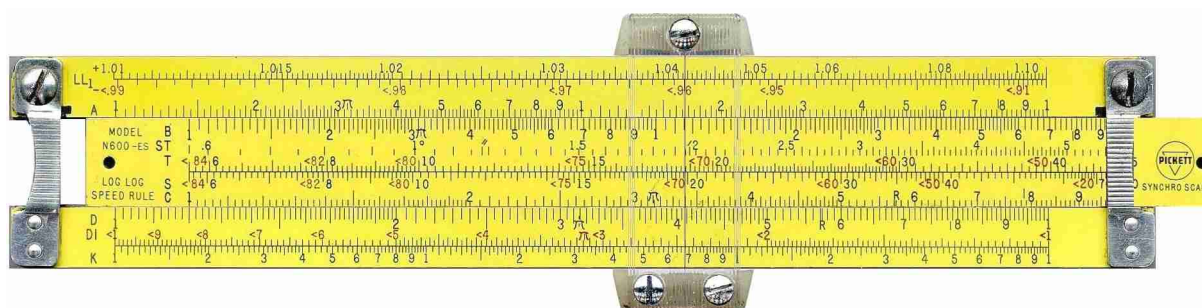
Per materiale ed immagini si ringrazia lo staff di [www.giocomania.org](http://www.giocomania.org).

## Scheda - Le caratteristiche del regolo

Il regolo moderno, non molto diverso dai suoi predecessori, è composto da: corpo fisso, righello centrale scorrevole e cursore trasparente con una linea verticale per facilitare le letture.



*I componenti del regolo: corpo, scorrevole e cursore*



*Il Pickett 600 ES della NASA con colorazione antiriflesso in dimensioni originali*

Per ottenere uno strumento insensibile alle variazioni di temperatura si utilizzava il legno di bosso (boxwood), di mogano o di bambù, i pezzi più pregiati erano costruiti in avorio, e le scale venivano incise. Verso la fine dell'800 cominciarono ad essere ricoperti da una lamina di cellulose bianca che migliorò la leggibilità delle scale, ora stampate. Nel 1936 venne inventato l'Astralon, un derivato del PVC, subito utilizzato al posto della cellulose che tendeva ad ingiallire e dopo il 1945 si diffusero regoli in sola plastica o in alluminio: questi ultimi adottavano spesso una colorazione gialla antiriflesso "ES" (Eyes Saver) studiata per le missioni spaziali. La precisione è proporzionale alla lunghezza delle scale e per questo motivo se ne costruirono anche di forma circolare. Le lunghezze (o i diametri) variano da 27 a 30 cm, solo pochi sono più lunghi, mentre il regolo tascabile misura 13-15 cm. I principali modelli sono:

### **Simplex e Duplex**

Simplex ha le scale solo sul fronte, Duplex ha le scale anche sul retro.

### **Mannheim e Polyphase**

Mannheim si riferisce ai regoli Simplex con le quattro scale di base: A, B, C e D, Polyphase ha in più la scala K, per cubi e radici cubiche e la CI, logaritmica invertita, per facilitare alcuni calcoli.

### **Trig e Decimal-Trig**

Trig si riferisce ad un regolo con le scale di base per il calcolo delle funzioni trigonometriche seno, coseno e tangente e delle loro funzioni inverse. Decimal-Trig si riferisce a scale trigonometriche con lettura in gradi decimali piuttosto che in gradi e minuti di grado.

### **Log-Log**

Ha scale "LL" per l'elevazione a potenza.

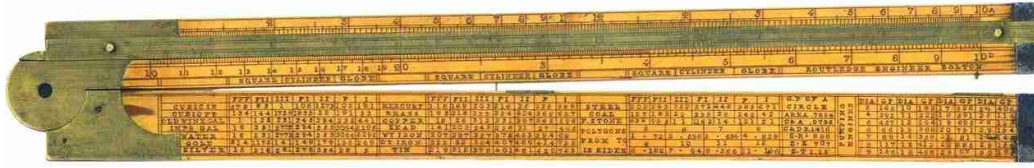
### **Dual Base**

Ha scale per calcolare i logaritmi in base 10 e in base naturale.

### **Vector**

Ha scale speciali (fino a 34) per calcolare le funzioni trigonometriche iperboliche.

Nel 1677 Henry Coggeshall creò la Carpenter's Slide Rule, montata su due righelli di legno con la gradazione in pollici, la scala centrale scorrevole in bronzo e diverse altre scale per la risoluzione di vari problemi. E' uno strumento combinato che ha permesso di misurare e calcolare anche alla gente comune, rimasto in uso fino agli inizi del '900 soprattutto nei cantieri navali e nelle carpenterie.

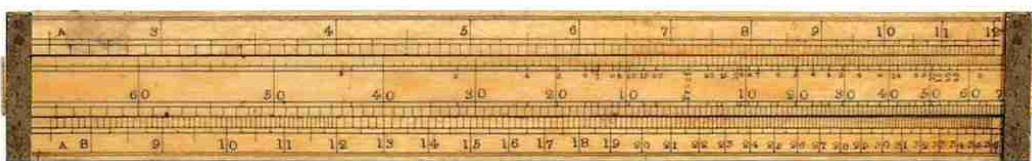


**Carpenter's Slide Rule, ca. 1840**

All'inizio del 1700 esistevano quindi regoli specifici per gli usi dell'epoca: la Carpenter's Slide Rule trovava il volume ed il peso dei carichi di legname, la Gauging Rule calcolava la tassazione delle botti di birra mentre la Gunter's Scale permise una grandiosa opera di misurazione: la mappatura degli Stati Uniti. Il vecchio Sector aveva ormai estimatori solo nell'ambito nautico e militare.

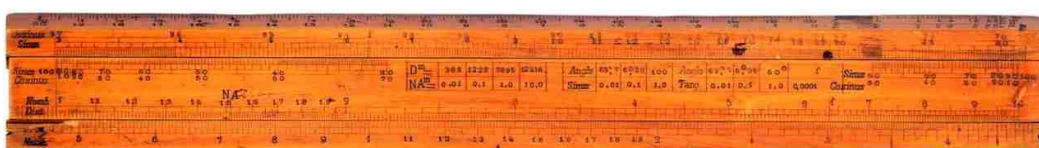


**Set con due regoli ed idrometro per la tassazione degli alcoolici, ca. 1870**



**Gauging Rule, ca. 1860**

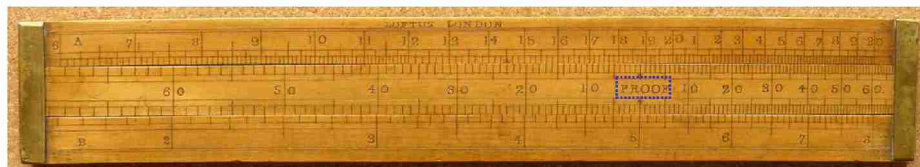
Verso metà '800 divenne però pressante l'esigenza di strumenti di calcolo non solo specializzati nell'uso fiscale o marittimo e, indispensabili per la progettazione delle macchine a vapore e lo sviluppo delle ferrovie, cominciarono ad apparire i primi regoli per uso generico che si diffusero rapidamente ovunque, armi segrete della rivoluzione industriale. Per i calcoli astronomici occorre una precisione assoluta e si utilizzavano le tavole logaritmiche: per eliminare gli errori le case editrici offrivano premi in denaro a chi ne avesse trovati, scatenando le umoristiche "cacce" di cui parla Verne in un racconto.



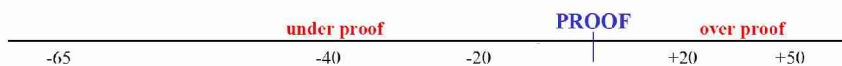
**Regolo topografico, ca. 1860**

## Scheda - Il regolo fiscale

Con questi regoli si possono misurare i volumi di botti e recipienti cubici, le quantità contenute, convertire misure, trovare i titoli di diverse miscele, in breve tutto ciò che necessita ad un esattore fiscale. Determiniamo come esempio la tassazione di un alcolico in base alla sua gradazione: utilizzeremo un regolo Loftus del 1850, ancora senza il cursore, sapendo che una bevanda è chiamata "proof standard" quando a 60°F (15,5°C) contiene il 57,1% di alcol e il 42,9% di acqua. Per il materiale e le immagini si ringrazia Gonzalo Martin: [www.photocalcul.com](http://www.photocalcul.com).



- ← Scellini per gallone
- ← Gradazione alcolica
- ← Scellini per gallone



Gradazioni dello scorrevole



- ← Galloni
- ← Gradazione alcolica
- ← Galloni

<b>A</b>	12 sh	16 sh	20 sh
	-25	PROOF *	+25
<b>B</b>			

Esempio: se un gallone è tassato 16 scellini a "proof standard" ne pagherà 20 a +25 proof e 12 a -25 proof. Il funzionario timbrava le botti con il valore del tasso alcolico riscontrato ed era un reato annacquare i liquori.



Misurazione del tasso alcolico, ca. 1890



*Regolo circolare Charpentier, ca. 1890*



*Semplice regolo in cartoncino, ca. 1845*

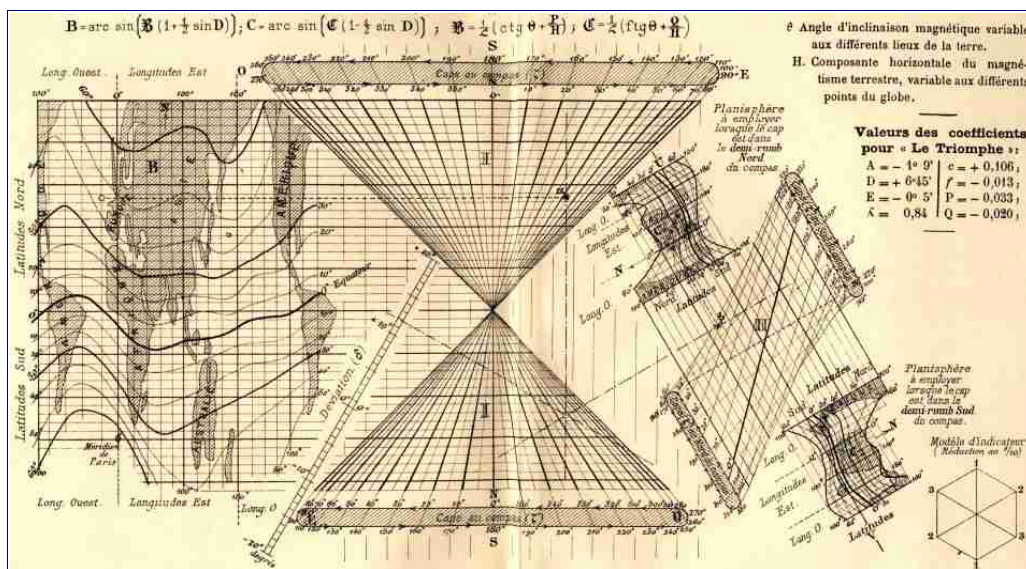
## L'Abaque Compteur

Nel 1844 Léon Lalanne creò la prima tavola logaritmica della storia, l'Abaque Compteur Universelle, pensata come sostituto economico dei regoli.

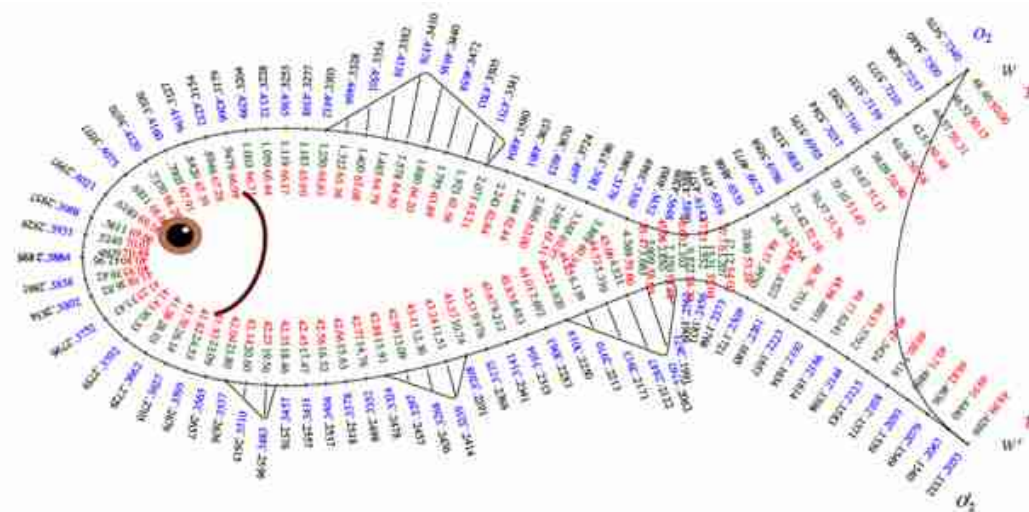
Questo tipo di calcolo, prefigurato da Pouchet alla fine del '700, ebbe la prima applicazione pratica con Lalanne e fu in seguito sviluppato da d'Ocagne che gli diede il nome di nomografia. E' in sintesi la rappresentazione grafica dei rapporti matematici. Lalanne appese copie del suo Abaque Compteur nelle piazze e nei ritrovi di affari, dando così grande fama al suo metodo. In Francia, dopo la legge del 1842 che organizzava le ferrovie, c'era infatti la necessità di risolvere rapidamente calcoli complessi.

Per questo lavoro Lalanne si ispirò a Pouchet, che nella sua *"Métrologie"* (1796) aveva proposto una tavola grafica di moltiplicazione, apportando essenziali innovazioni: col suo abaco è possibile creare una equazione a tre variabili, in termini attuali un programma di calcolo, creando così strumenti per la risoluzione di problemi specifici come l'abaco di Charles Lallemand, studiato per determinare la deviazione bussola (in ogni parte del globo) della nave *Le Triomphe*. Calcoli prima difficili anche per gli *"happy fews"* erano ormai alla portata di tutti.

Gli abachi non ebbero mai il successo sperato ma l'armonia delle proporzioni fra i numeri ha prodotto grafiche di singolare bellezza. La storia continuerà con lo sviluppo della nomografia, ancora più semplice e intuitiva.

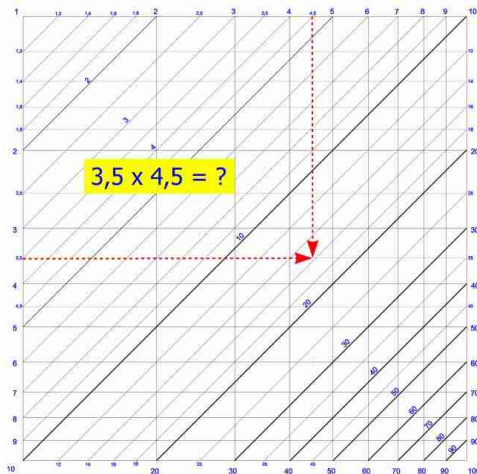


**"Abaque Triomphe", Charles Lallemand 1885**



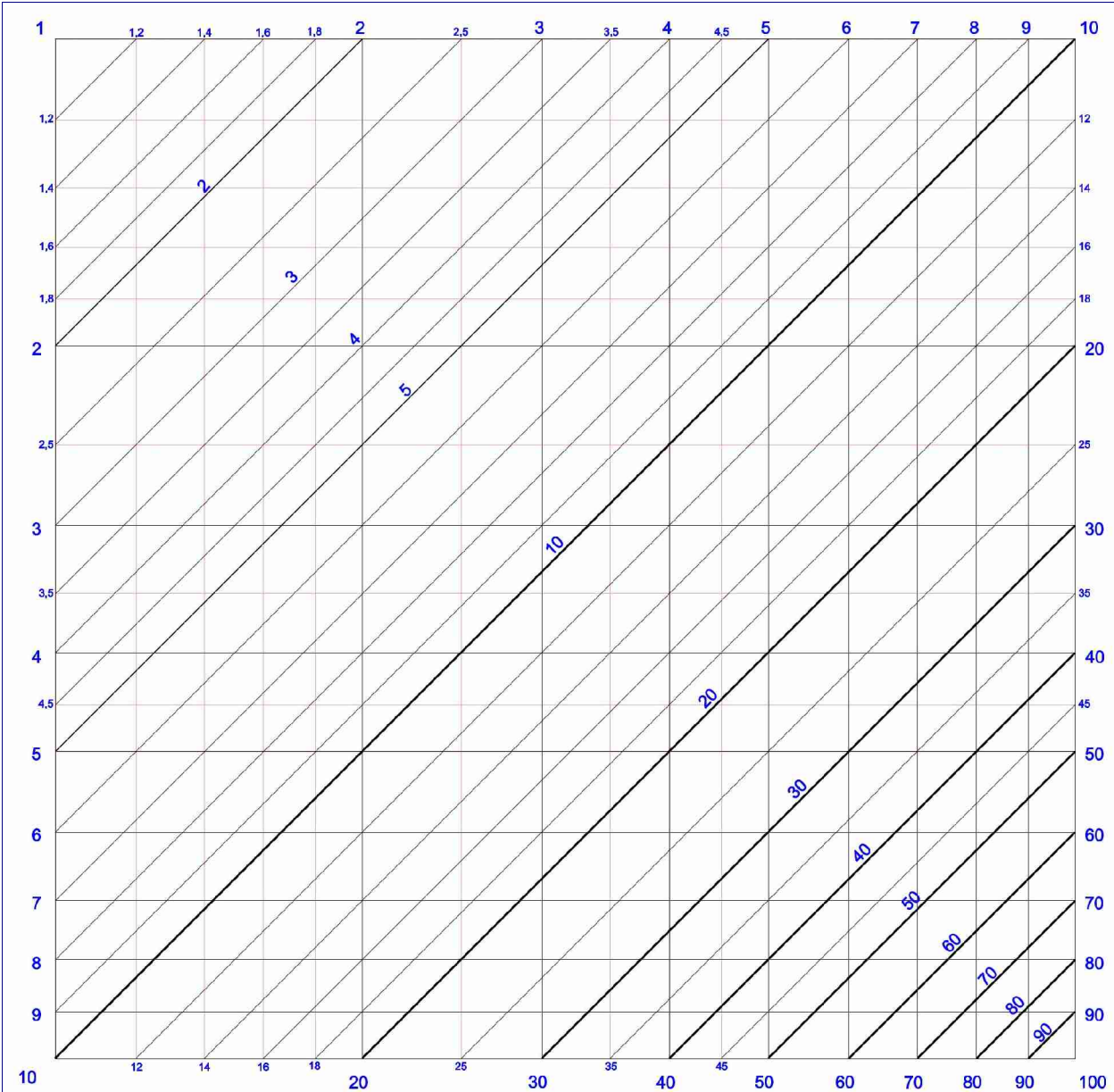
**Nomogramma "zoomorfo" per calcolare alcune funzioni vitali della trota**

## Scheda - Calcolare con l'Abaque Compteur



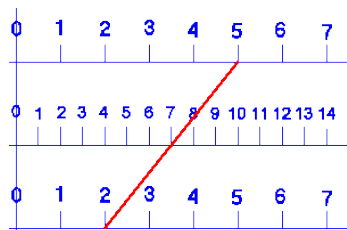
L'abaco di Lalanne, qui semplificato da [www.giocomania.org](http://www.giocomania.org), permette di operare molto rapidamente a scapito di una piccola perdita di precisione. Supponiamo di voler eseguire  $3,5 \times 4,5$ : basta cercare l'intersezione dei due valori sulla diagonale e leggere il risultato. In questo caso l'intersezione è vicino a 16 e possiamo valutare a occhio il risultato in ca. 15,5. In realtà  $3,5 \times 4,5 = 15,75$  e non 15,5, un errore inferiore al 2%. Le cose si complicano moltiplicando, per esempio,  $172 \times 37$ : bisogna ridurre a  $1,72 \times 3,5$  e poi aggiungere gli zeri al risultato.

E' possibile anche dividere: per eseguire  $35/8$  portiamoci sulla diagonale di valore 35 e cerchiamo l'incrocio con la retta orizzontale di valore 8; questo punto è vicino alla retta verticale 4,5 e noi approssimeremo a 4,3. Il risultato esatto è invece 4,375: sempre un errore di ca. il 2%. L'abaco originale permette inoltre di elevare a potenza ed estrarre radici.



## La nomografia

La nomografia è stata inventata nel 1884 da Maurice d'Ocagne che riprese i lavori di Lalanne sostituendo le coordinate cartesiane con un sistema di scale parallele.



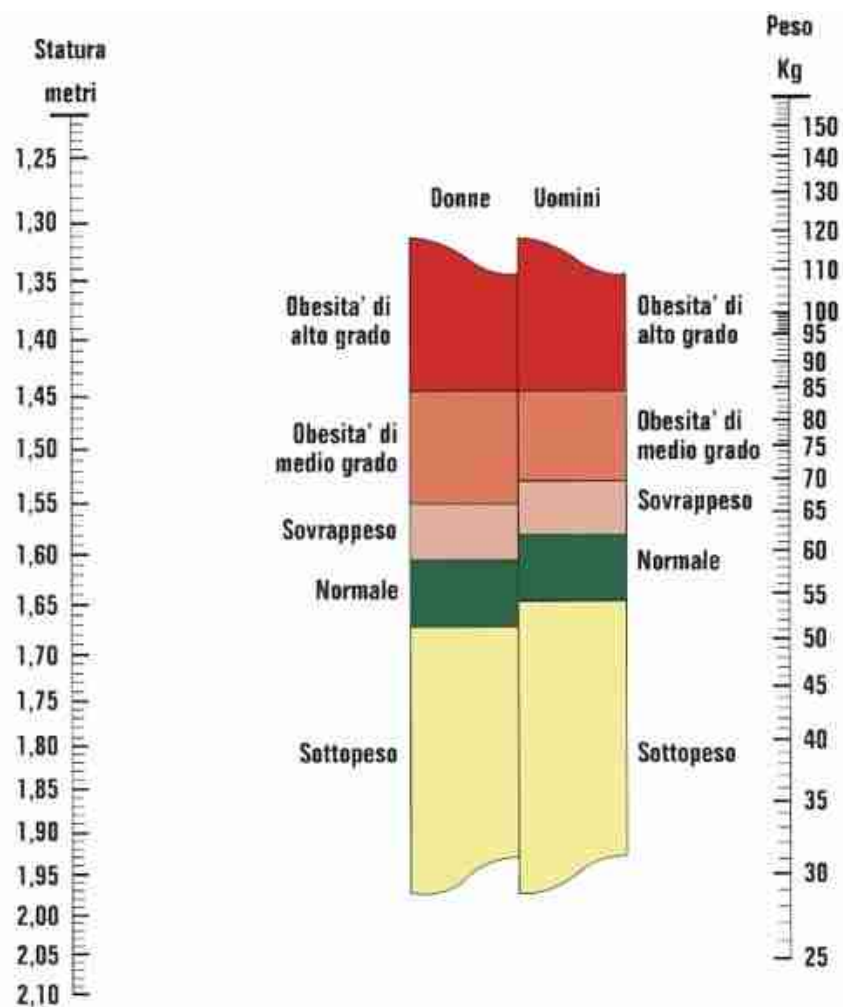
Il nomogramma, o nomografo, nella sua forma più semplice è costituito da tre scale graduate: nelle due scale esterne si identificano i valori del problema da risolvere e, congiungendoli con una retta (chiamata linea d'indice o isopleth) si può leggere il risultato all'incrocio con la scala centrale. Le scale possono essere lineari o logaritmiche, per i calcoli più semplici sono riportate su delle linee rette ma è talvolta necessario disegnarle circolari.

**$2+5=7$ ;  $7-5=2$ ;  $7-2=5$**

La nomografia ha permesso a tutti di effettuare calcoli con grande facilità, basta infatti disegnare una o più linee senza nemmeno dover conoscere l'equazione che si sta risolvendo. Una gran cosa prima che le calcolatrici elettroniche ci semplificassero la vita.

I nomogrammi sono strumenti analogici la cui precisione è limitata dall'accuratezza con cui si riescono a stampare e leggere le scale ma, al contrario dei regoli, possono risolvere solo i problemi per cui sono programmati. Spesso vengono inseriti in tabelle scorrevoli come le slide chart illustrate a pagina 102.

I nomogrammi trovano oggi largo impiego per usi militari, in medicina ed in aeronautica; rapidi da consultare forniscono risultati sufficientemente precisi e nella la soluzione di problemi specifici non hanno confronti. Questo in basso è estremamente intuitivo: basta unire con un righello i valori del nostro peso e della nostra altezza per sapere se dobbiamo subito metterci a dieta.

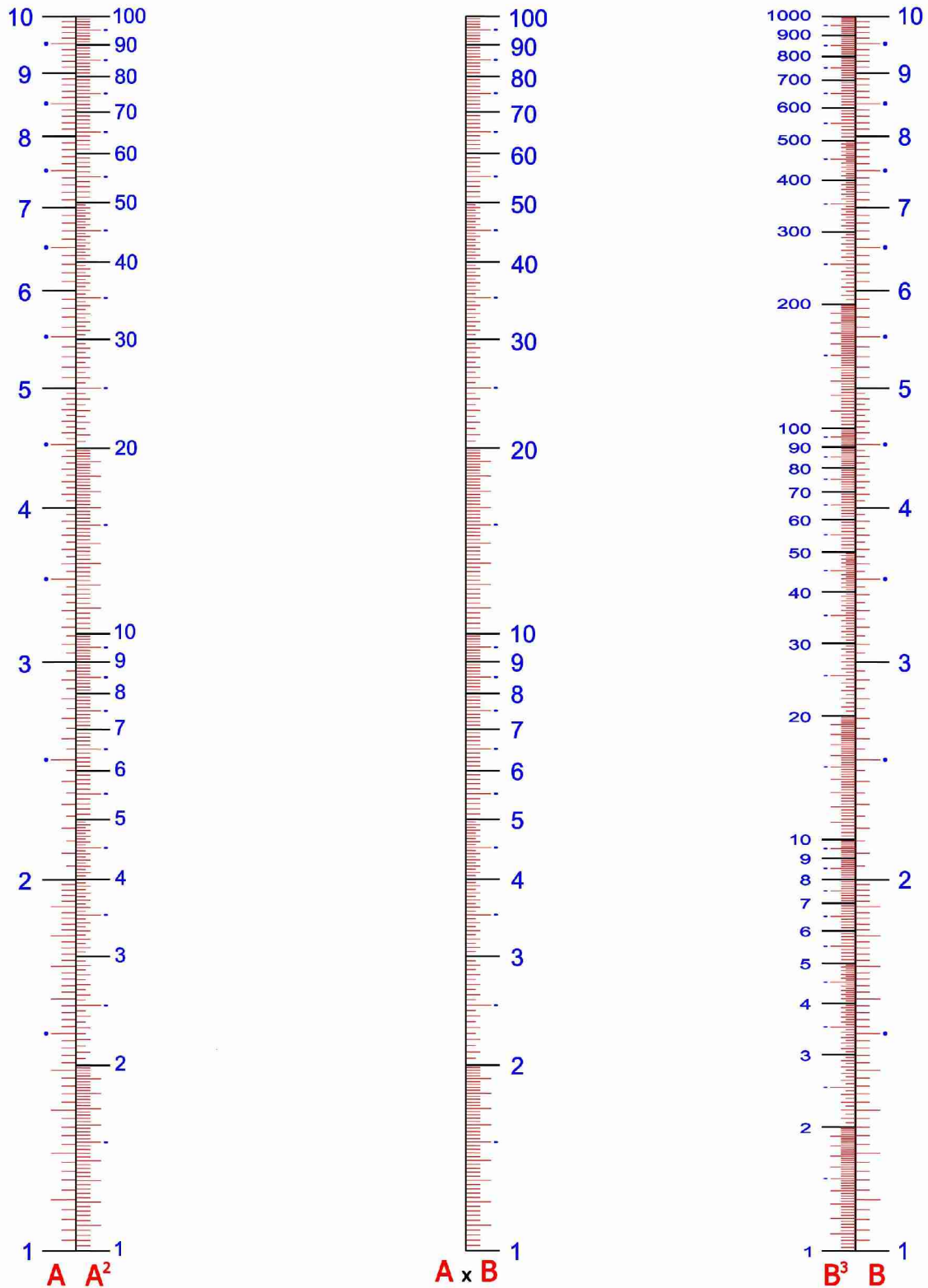


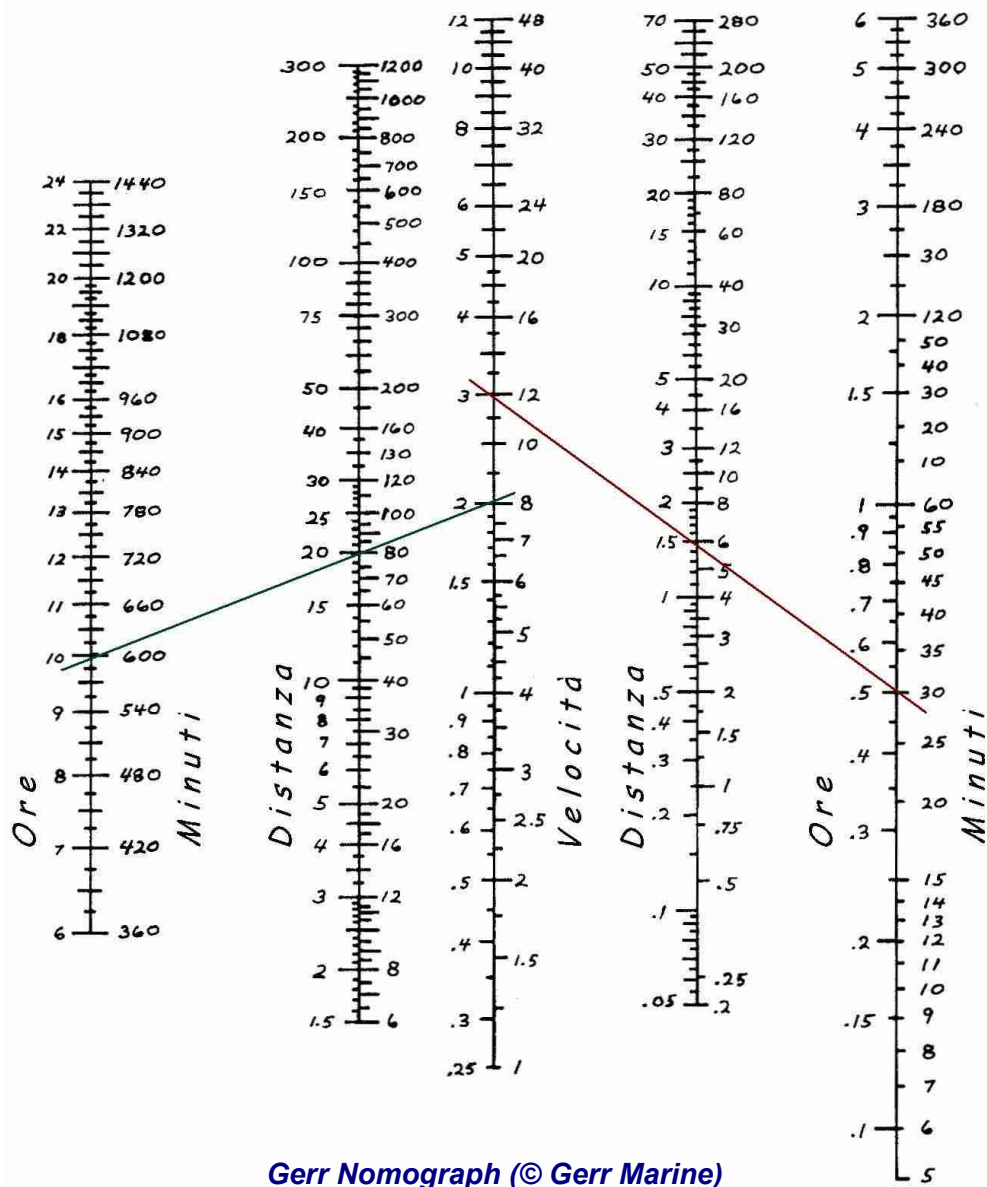
**Nomogramma per la determinazione dell'obesità**



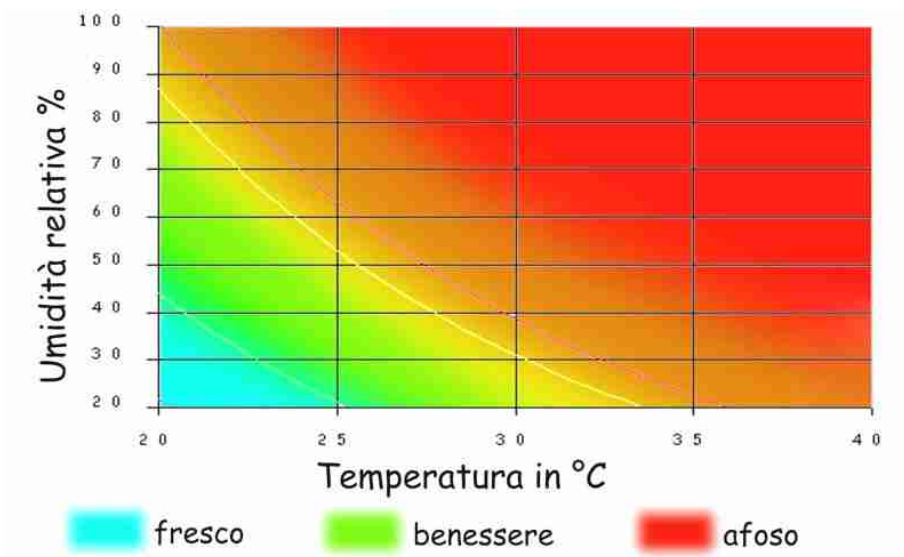
## Scheda - Calcolare con la nomografia

Non c'è bisogno di spiegazioni, per moltiplicare è sufficiente congiungere con un righello i due fattori delle scale A e B e leggere il risultato nella scala centrale AxB; per dividere identificare il dividendo sulla scala centrale. Nelle colonne A3 e B3 si leggono i risultati di quadrati e cubi, operando come nella divisione si possono estrarre le radici. Una piccola ed utile calcolatrice senza pile che introduce molto bene alla comprensione del regolo. Per l'elaborazione grafica si ringrazia [www.giocomania.org](http://www.giocomania.org).





Nomogramma nautico: in 10 ore a 2 nodi percorreremo 20 miglia, in 30 minuti a 12 nodi 6 miglia. Misura le relazioni fra velocità tempo e distanza, calcolando indifferentemente in nodi, miglia o chilometri, e possiamo usarlo per pianificare i viaggi in auto. In basso, elaborato dall'Istituto Belluzzi-Fioravanti di Bologna, un nomogramma che mostra il fattore di disagio fisico all'aumentare di temperatura e umidità.



## Scheda - Il nomogramma di Koch

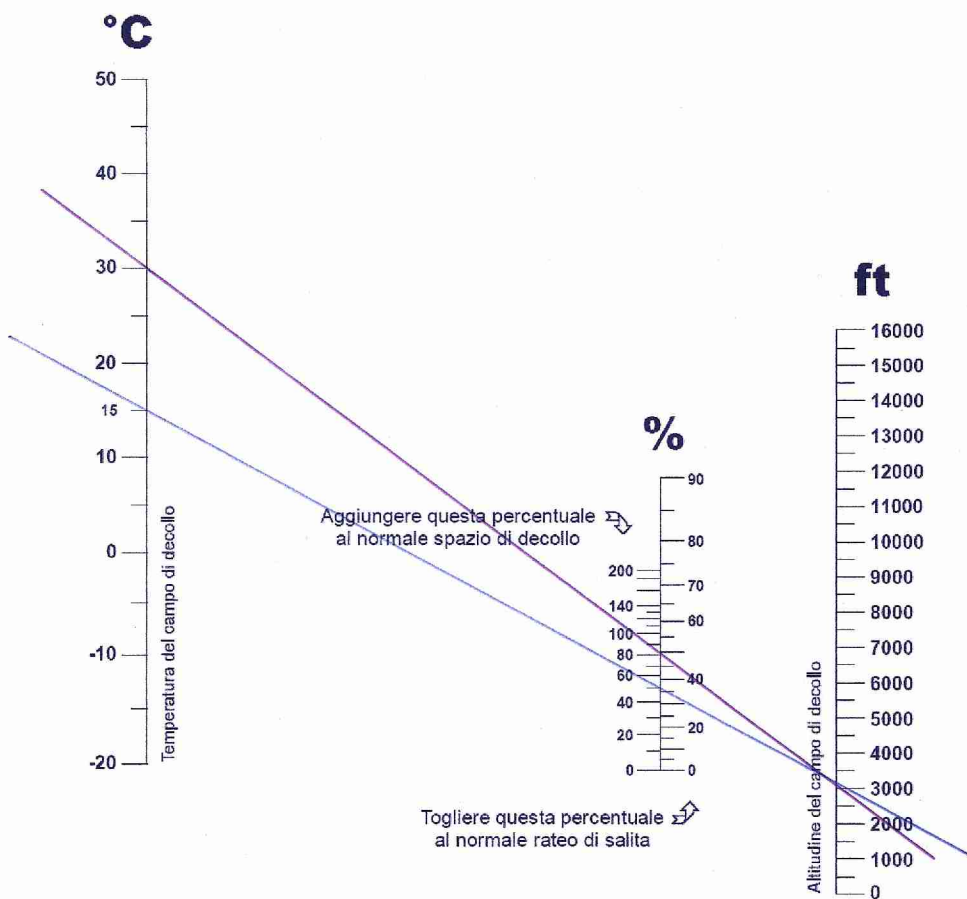
Il nomogramma di Koch, sempre presente nella borsa dei piloti, è indispensabile per calcolare le distanze di decollo. Per mostrarne il funzionamento semplificherò le spiegazioni al massimo, sappiamo che:

- minore è la pressione, minore è la densità dell'aria;
- maggiore è l'altitudine, minore è la densità dell'aria;
- maggiore la temperatura, minore è la densità dell'aria.

L'aria meno densa ha un forte effetto sulle prestazioni degli aeromobili, sia per il sostentamento che per il rendimento dei motori, e sommando questi fattori potremmo essere in pericolo. Per sapere se possiamo partire in sicurezza basta consultare questo nomogramma, tarato per una pista "standard" sita al livello del mare con una temperatura di 15°C.

Tracciamo una retta congiungendo la temperatura di oggi (es. 30°C) e l'altitudine della nostra pista (es. 3.000 piedi - 900 metri): vediamo subito che, se il nostro manuale indica 400 metri come distanza di decollo in condizioni "standard", oggi ne avremo bisogno dell'80% in più e di metri ne serviranno ben 720. Non si può immaginare di peggio: aereo lanciato al massimo e pista finita ...

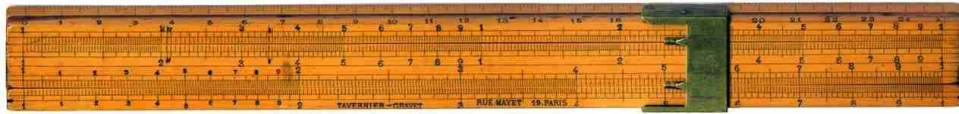
Meglio verificare e prima di dare manetta controlleremo sempre che lo spazio sia sufficiente, altrimenti sarà necessario attendere che la temperatura si abbassi. Al mattino presto, con 15°C, di metri ne basteranno 600 e potremo ripartire. E' una "check list" da eseguirsi quotidianamente e il discorso vale anche al contrario: in condizioni particolari la solita pista potrebbe non bastarci per atterrare!



Questo esempio vale indicativamente per un aereo da turismo che intenda decollare da un aeroporto situato a 900 metri sul livello del mare in un afoso pomeriggio estivo; il dato da inserire è in realtà una combinazione fra l'altitudine della pista e la pressione barometrica, per questo esempio non serve conoscerlo, che giustifica l'estensione della scala di destra. Anche il rateo di salita esula dal tema, l'importante è notare quanto sia rapida la soluzione di questo problema, più veloce e istintiva che con la calcolatrice.

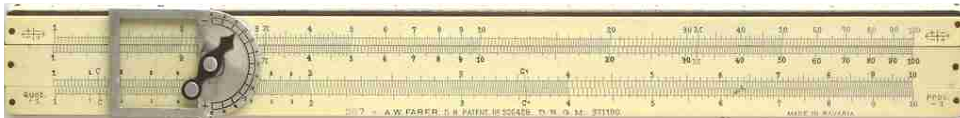
## L'età d'oro del regolo

Nel 1859 il tenente di artiglieria francese Amédée Mannheim migliorò le scale introducendo il cursore mobile: era nato il regolo moderno, subito introdotto in Italia da Quintino Sella (pag. 119).

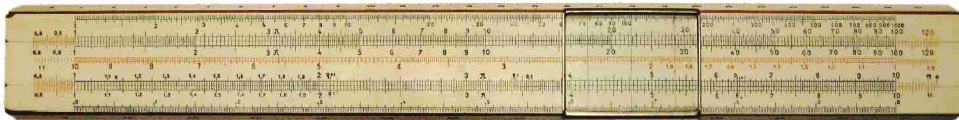


**Col regolo di Mannheim appare finalmente il cursore, ca. 1860**

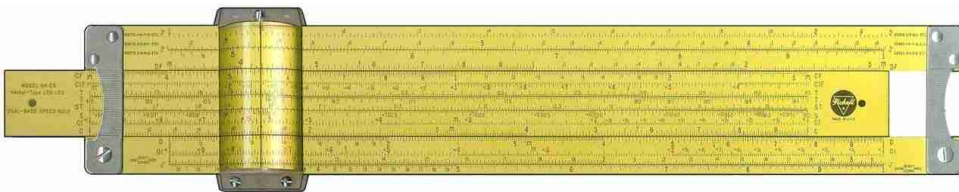
Ci furono diversi tentativi di facilitarne la lettura con cursori di tipo innovativo che però non ebbero successo e rimase in uso il cursore tradizionale, talvolta accoppiato ad una lente di ingrandimento.



**Regolo Faber Castell con cursore decimale, ca. 1910**

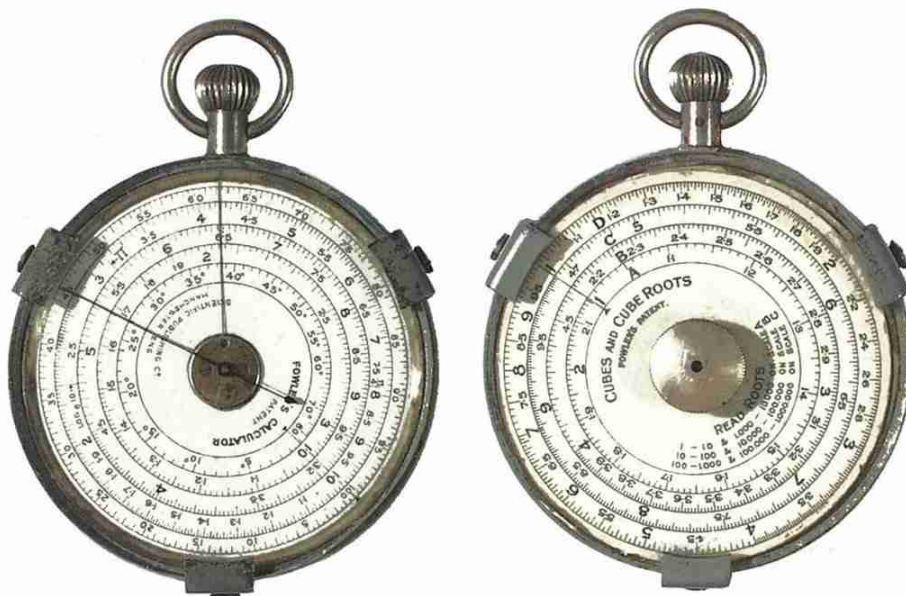


**Classico regolo Nestler 23, il preferito da Einstein, ca. 1930**

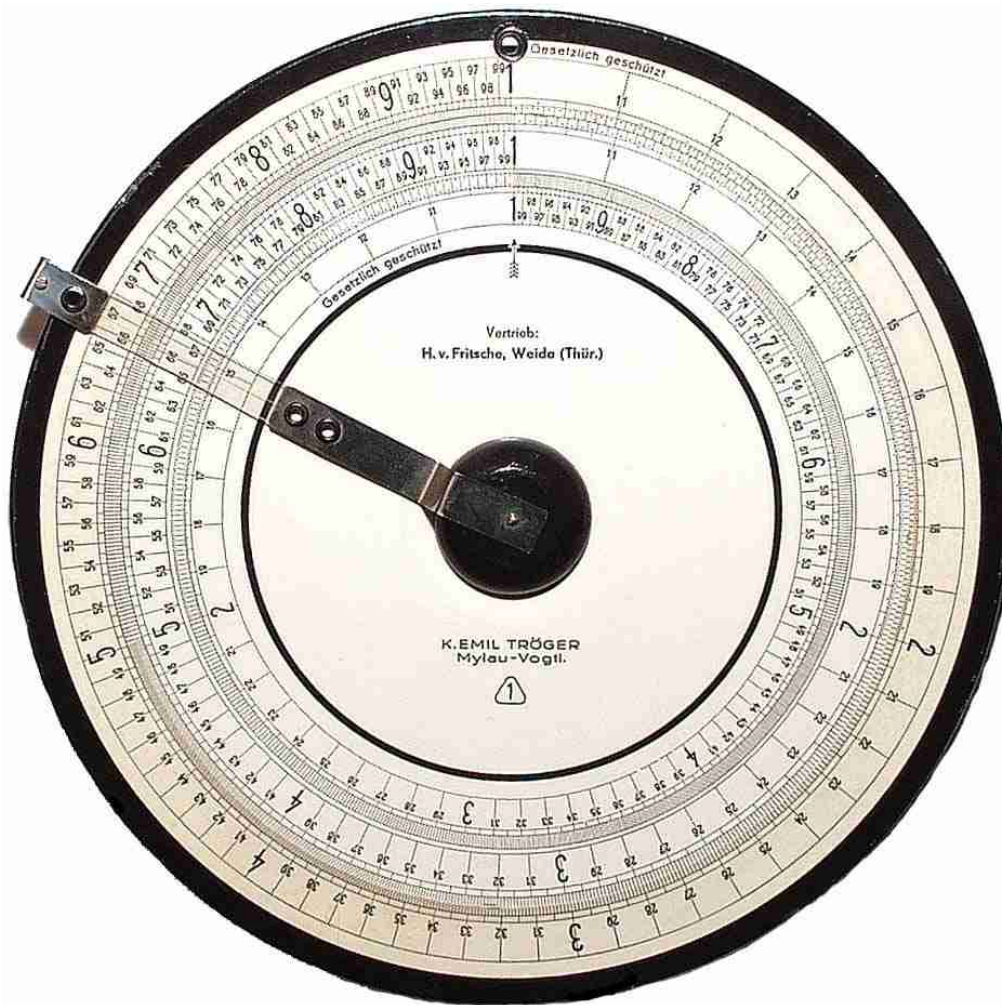


**Regolo Pickett con lente di ingrandimento nel cursore, ca. 1960**

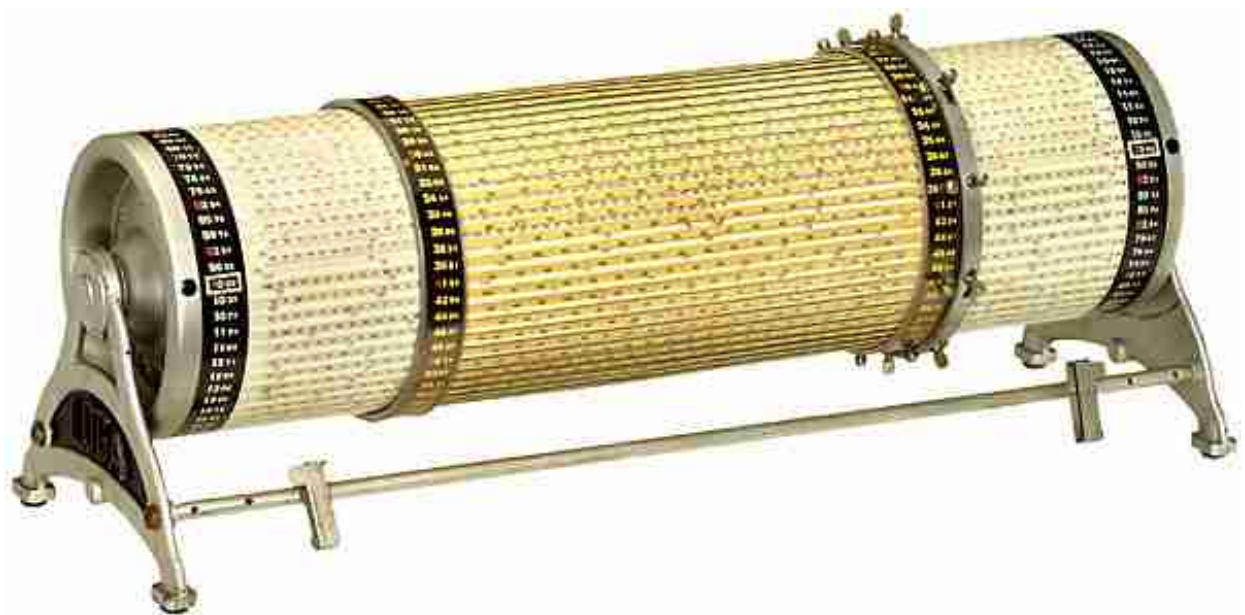
Attorno al 1920 il regolo aveva assunto la sua forma definitiva: Einstein lo utilizzò per elaborare la teoria della relatività, Marconi per la radio, Fermi per la bomba atomica, Korolev per il programma Sputnik e Von Braun per i motori del Saturno V, il vettore lunare. Al fine di migliorarne la precisione, proporzionale alla lunghezza delle scale, si produssero modelli circolari anche di grandi dimensioni.



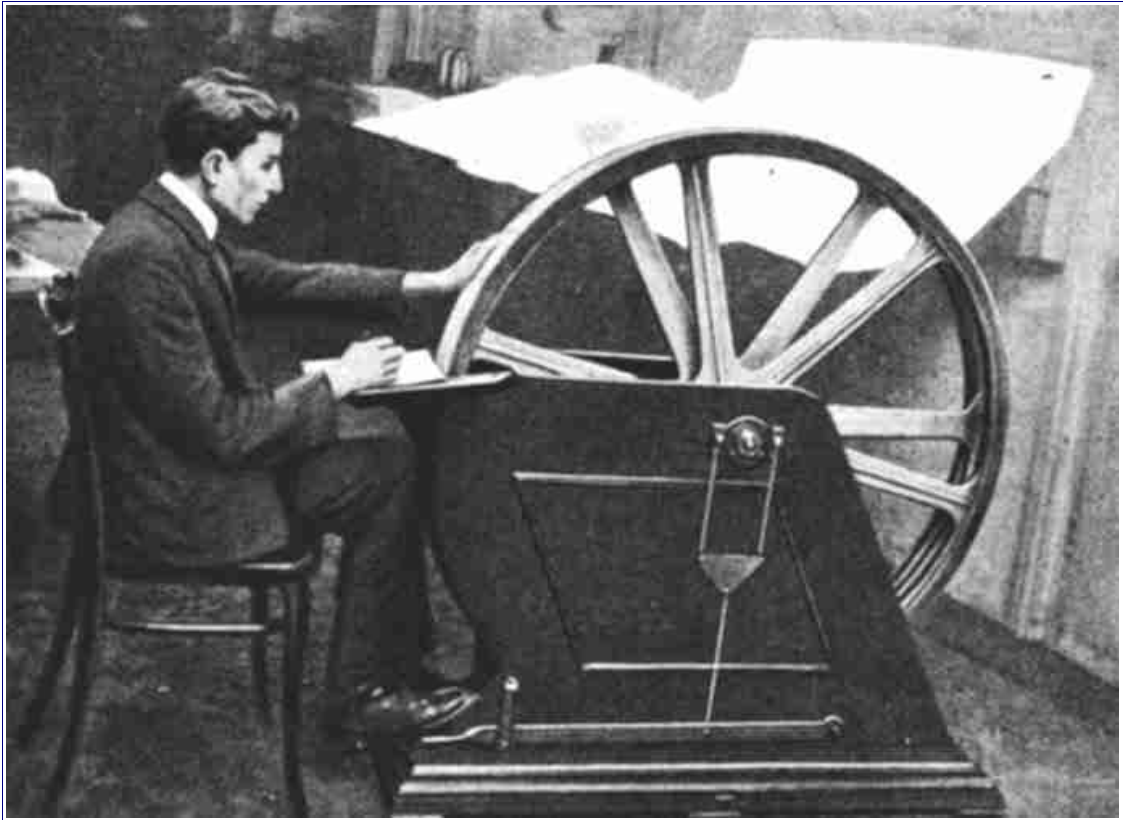
**Fronte e retro del regolo circolare da taschino Fowler, ca. 1910**



*Regolo circolare Tröger di 30 cm di diametro, ca. 1935*



*Regolo cilindrico da tavolo Loga con ben 7 metri di scala, ca. 1930*



*In questo regolo "a pedali" le scale sono montate su ruote parallele, ca. 1906*



*Elica Calcolatoria di Fuller, ca. 1930*

Nel 1878 George Fuller brevettò una precisissima “Elica Calcolatoria” cilindrica con ben 13 metri di scala che, rimasta in commercio fino al 1972, servì per progettare dirigibili, aeroplani, ponti e grattacieli. Sono tutte costruzioni solidissime: il ponte di Brooklin e il Golden Gate rimangono ben saldi al loro posto e l'Empire State Building resistette all'impatto di un aereo che ne investì il 79° piano nel 1945.



***Elica Calcolatoria di Fuller, ca. 1945***

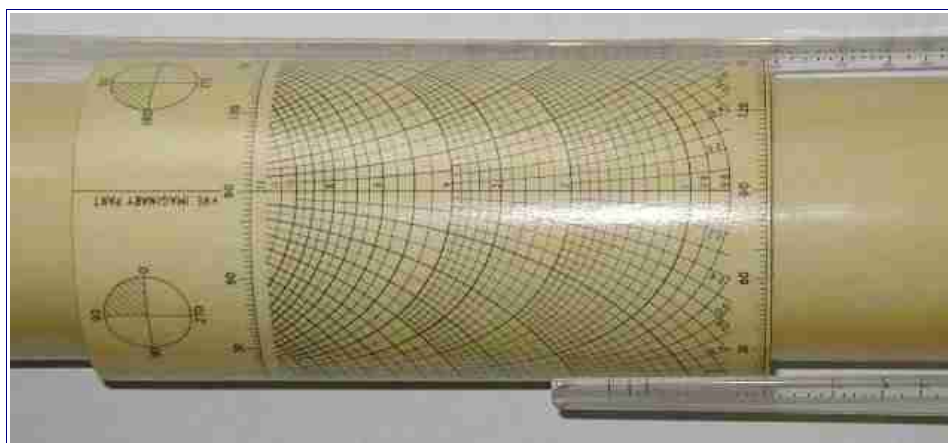
I regoli cilindrici venivano prodotti anche in versione tascabile ed alcuni modelli erano addirittura inseriti come manici nei bastoni da passeggio: un'idea da rispolverare per l'iPhone!



***Regolo cilindrico inserito in un bastone da passeggio, ca. 1935***

I numeri complessi, scoperti da Rafael Bombelli alla fine del '500, furono poi sviluppati nel '700 da Gauss, Ruffini e Abel. Un numero si dice complesso quando è formato da un numero reale e da uno immaginario (Es:  $3+2i$ ).

La teoria, come giustamente dice il nome, è complessa e rimane fuori dal nostro ambito ma è utile sapere che sono molto usati in ingegneria, nella meccanica quantistica e nella teoria della relatività, dove alcune formule dello spazio metrico diventano più semplici se si suppone la variabile temporale come variabile immaginaria. Oggi sembra impossibile risolvere equazioni composte da numeri complessi senza una potente calcolatrice elettronica, ma esistevano anche regoli con scale disegnate per questo scopo. La meccanica quantistica si è potuta sviluppare anche grazie ad essi.



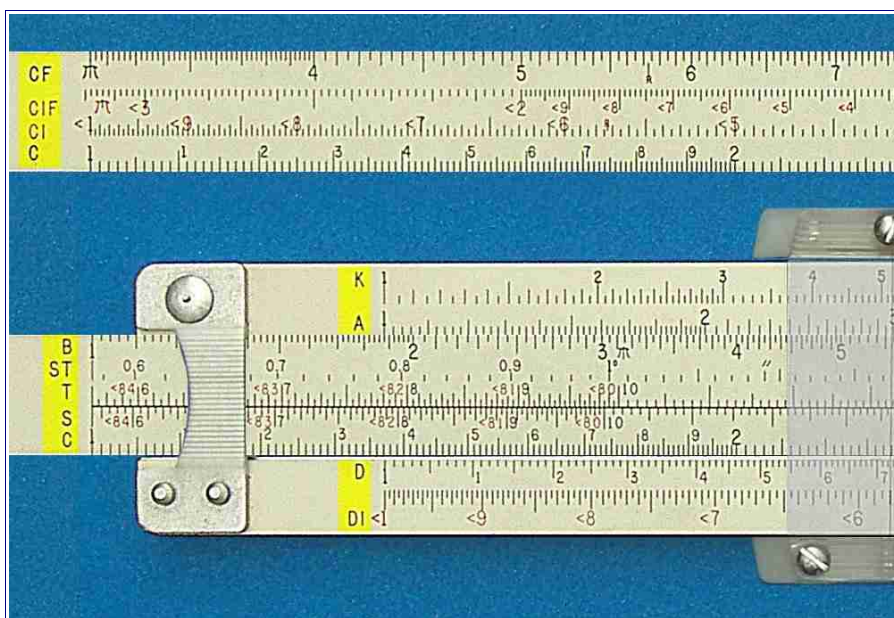
***Elica Calcolatoria di Fuller con scala per numeri complessi, ca. 1960***

## Scheda - Il regolo moderno

Abbiamo visto come il regolo venisse usato in tutti i campi e può parere strano che il semplice righello illustrato nella scheda a pag. 69 fosse così indispensabile ai progettisti, ma il regolo moderno è uno strumento completo che risolve ogni tipo di operazioni. Non si può fare un tutorial in poche pagine e per chi desidera approfondire l'argomento vi sono tanti siti web, maggiormente in inglese, dove si possono scaricare corsi molto facili come lo "Slide Rule Seminar", sliderulemuseum.com, mentre in italiano sono da visitare: Aldo Cavini Benedetti, aldoaldoz.blogspot.it, e Ugo Mainieri, www.mainieri.eu. Chi ha familiarità con lo spagnolo troverà buone spiegazioni su www.reglasdecalculo.com. Per procurarsi un regolo leggere la scheda a pag. 122 od utilizzare gli innumerevoli regoli virtuali presenti nel web. Derek Ross ne propone diversi corredati da ottime istruzioni: www.antiquark.com/sliderule/sim/index.html. In alternativa si può acquistare l'applicazione per iPhone o ritagliare i modellini di carta che si trovano a pagina 137.

Vediamo quindi molto brevemente un paio di esempi di ciò che può fare un regolo moderno. Spiegazioni e immagini a cura di Aldo Cavini Benedetti, da me liberamente ridotte.

Le scale sono indicate convenzionalmente da alcune lettere, di semplici come quelle di Oughtred ve ne sono sempre due, una sullo scorrevole (scala **C**) e l'altra sul corpo (**D**). Le altre scale servono per semplificare i calcoli quando si è in presenza di quadrati, cubi, radici quadrate e cubiche, funzioni trigonometriche, ecc. Le scale sono smistate fra il davanti e il dietro del righello scorrevole e del corpo. In questo regolo, di dimensioni simili al vero, troviamo:



- K:** Scala dei cubi (corpo);
- A:** Scala dei quadrati (corpo);
- B:** Scala dei quadrati (scorrevole);
- ST:** Seni e tangenti per angoli piccoli (scorrevole);
- T:** Scala delle tangenti per angoli  $> 6^\circ$  (scorrevole);
- S:** Scala dei seni (e coseni) per angoli  $> 6^\circ$  (scorrevole);
- C:** Scala dei numeri (scorrevole);
- D:** Scala dei numeri (corpo);
- DI:** Scala degli inversi dei numeri ( $1/x$ ) (corpo).

Nel rovescio del righello scorrevole, in alto, compaiono altre tre scale:

- CI:** Scala dell'inverso dei numeri ( $1/X$ );
- CF:** Scala "ripiegata", che parte da  $\pi$  invece che da 1;
- CIF:** Scala dell'inverso, che parte da  $\pi$ .

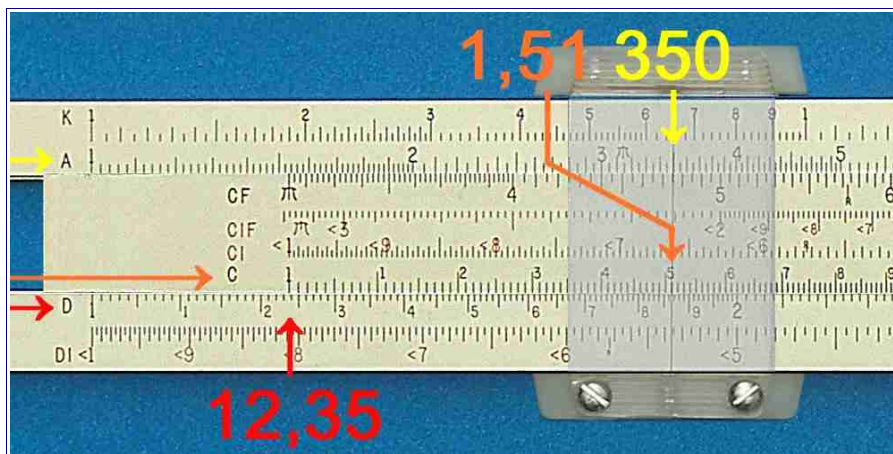
Per maggiore leggibilità delle foto espongo i calcoli in modo che tutti i numeri stiano in un breve tratto del regolo senza fuoriuscire dalle scale; inoltre per brevità non spiego come si determinano gli zeri o la posizione della virgola: lo scopo è solo mostrare di cosa erano capaci gli ingegneri quando usavano il regolo.



Eseguiamo una divisione dove il numeratore è una radice quadrata:

$$\frac{\sqrt{A}}{B} = \frac{\sqrt{350}}{1,51} = 12,3896 \cong 12,35$$

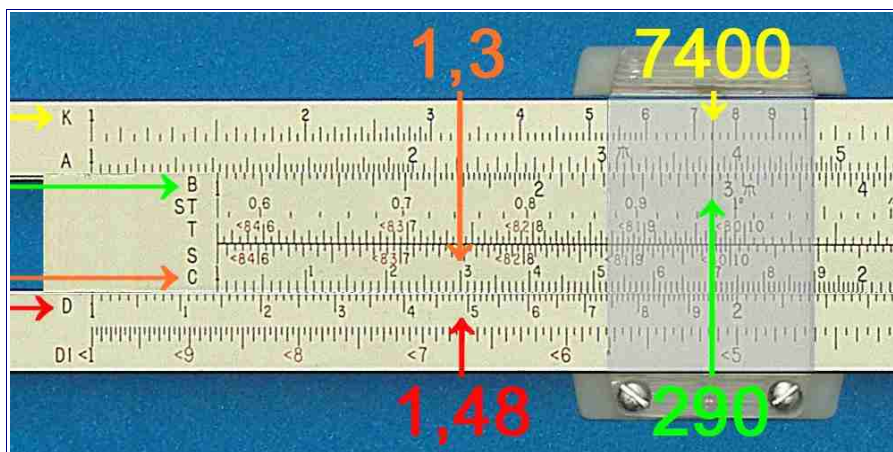
In verde sono indicati i numeri di partenza e il risultato reale (calcolato con la calcolatrice); in rosso il risultato ottenuto con il regolo. Nel fare il calcolo tutti gli operandi devono essere ricondotti a numeri compresi fra 1 e 10, quindi 2.100 diventa 2,1; 17 diventa 1,7 e 86 diventa 8,6. Ecco come si usano le scale:



si sposta il cursore sul valore **A** (350) della scala A dei quadrati (a questa posizione corrisponde sulla scala D il valore 18,7 che è proprio la radice quadrata di 350). Se ora facciamo coincidere il valore **B** (1,51) della scala C sulla linea del cursore, il valore della scala D in corrispondenza dell' 1 sinistro dello scorrevole corrisponderà alla divisione della radice quadrata di **A** per **B**, che è il risultato cercato.

Infine un calcolo che richiede l'uso di ben quattro scale diverse. Si tratta del rapporto fra una radice cubica e una radice quadrata, il tutto moltiplicato per un numero normale. Per realizzarlo occorre montare lo scorrevole al contrario in modo da disporre della scala dei quadrati (scala B).

$$\frac{\sqrt[3]{A}}{\sqrt{B}} \times C = \frac{\sqrt[3]{7400}}{\sqrt{290}} \times 1,3 = 1,4876 \cong 1,49$$



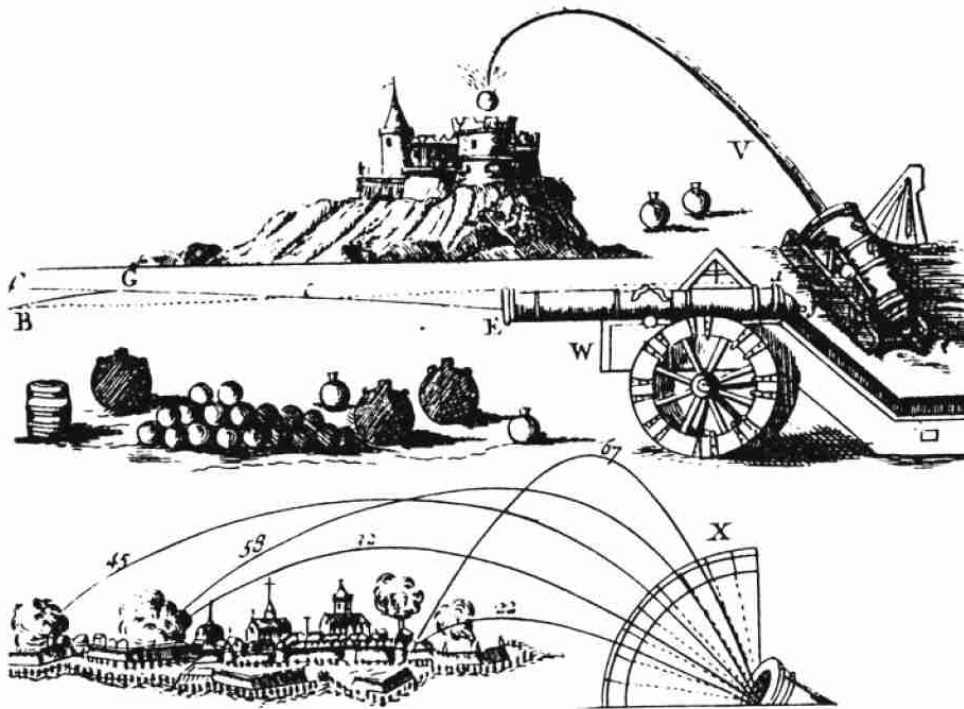
Si porta il cursore sul valore **A** (7.400) della scala K dei cubi (a questa posizione corrisponde, sulla scala D normale, il valore 19,487 che è proprio la radice cubica di 7.400). Si sposta poi lo scorrevole in modo da allineare al cursore il valore **B** (290) della scala B. A questo punto il valore della scala D in corrispondenza dell' 1 sinistro sullo scorrevole corrisponde alla divisione della radice cubica di **A** per la radice quadrata di **B**; se invece cerco il valore **C** (1,3) sulla scala C, il valore corrispondente sulla scala D sarà il prodotto del quoziente precedente per **C**, che è il valore cercato. Sembra intricato, ma come spiegarlo meglio?

Il regolo è comunque meno difficile di quanto sembri: il segreto è la pratica e chi non conosceva altri calcolatori lo trovava rapido e moderno. Come giudicheranno i nostri computer nel futuro?

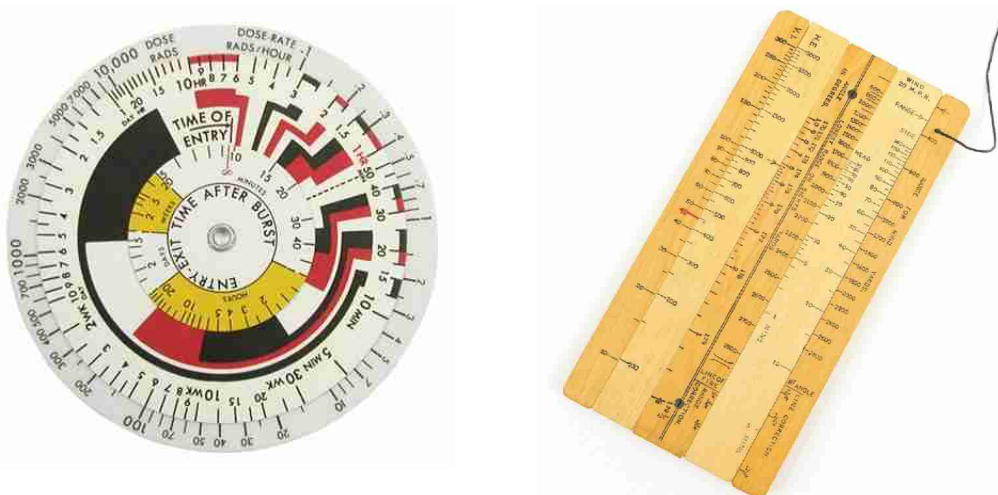
## Il regolo in guerra



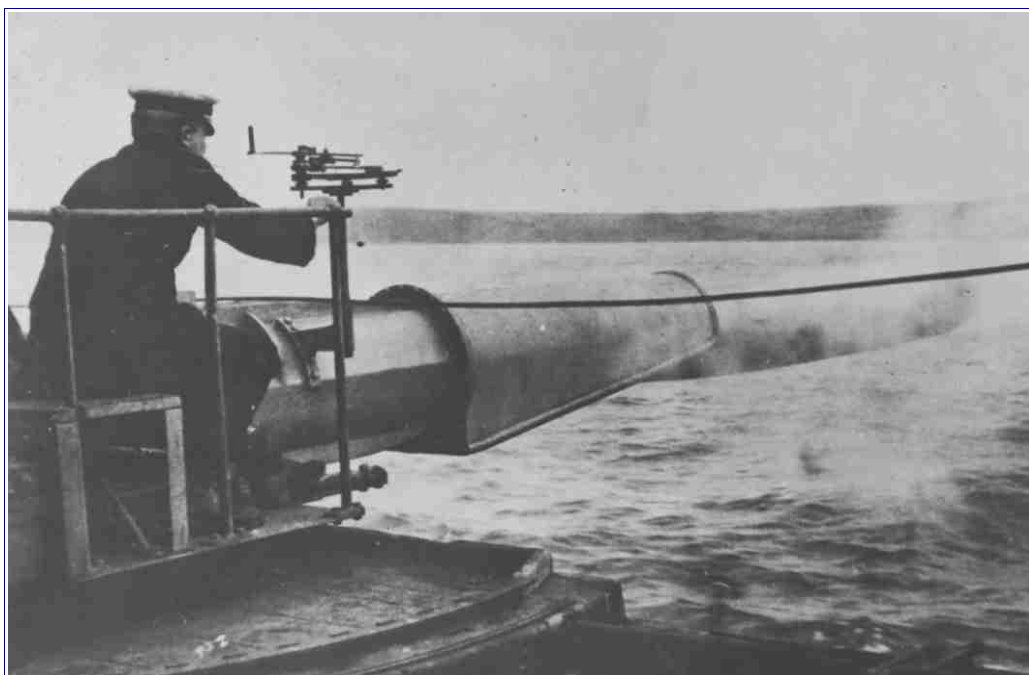
Il *“Compasso Geometrico et Militare”* di Galileo nacque per risolvere i problemi delle prime bocche da fuoco e il regolo moderno fu inventato dal tenente francese Mannheim per massimizzare il tiro dei suoi cannoni. Il regolo ha quindi un glorioso curriculum ed è ancora in forza negli eserciti: quale altro calcolatore potete lasciare acceso senza mai sostituirne le batterie o lanciare da 20 metri di altezza utilizzandolo poi senza problemi? Le moderne truppe speciali sono sempre equipaggiate con strumenti analogici, pronti all'uso anche dopo il guado di un fiume. Infine, durante la guerra fredda, si temeva un attacco nucleare sovietico e solo il regolo può funzionare in ambienti contaminati. In situazioni critiche l'affidabilità è essenziale.



**Studi di Galileo per il tiro delle bocche da fuoco**



**Regolo per misurare l'esposizione alle radiazioni e modello da tiratore scelto**



***Artiglieria in azione: si può vedere il regolo circolare di tiro***

I regoli servirono agli artiglieri per risolvere i problemi del triangolo di tiro e furono utilissimi per decifrare i messaggi nelle stazioni radio. Vennero usati anche in meteorologia per analizzare i dati forniti dai palloni sonda: le previsioni erano essenziali nella pianificazione degli attacchi aerei ed anche la data del "D-Day" venne scelta in base al bollettino del tempo.

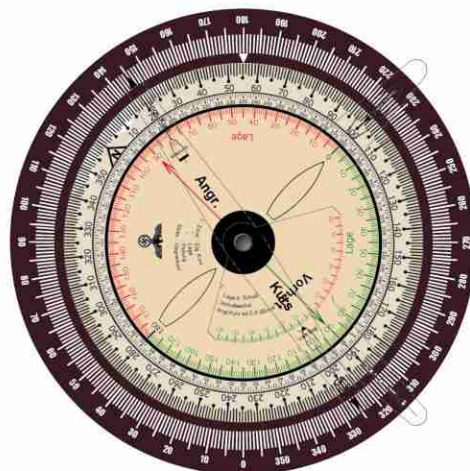


***Elaborazione del bollettino meteorologico***

L'uso del regolo ebbe grande sviluppo con la nascita della guerra sottomarina. Il lancio dei siluri alla cieca basandosi sui rilevamenti acustici necessita di molti calcoli ma, mentre gli Italiani utilizzavano un semplice regolo circolare, gli Americani costruirono poderosi regoli elettromeccanici che trovavano automaticamente la miglior soluzione di tiro. Coraggio e audacia niente poterono contro questa tecnologia e tanti nostri sommergibili non rientrarono alla base.



***Gli Americani avevano un gigantesco regolo meccanizzato ...***



***... Italiani e i Tedeschi solo un regolo circolare, chiamato familiarmente "il piatto"***



***Pianificazione del bombardamento in volo***

Anche in Aeronautica i regoli ebbero il loro momento di gloria. Le moderne tecniche di bombardamento esigevano infatti una perfezione assoluta nella determinazione dei bersagli, spesso notturni od oscurati dalle nubi, e nelle basi a terra erano utilizzati dal personale di supporto tattico per disegnare la mappa delle battaglie aeree.

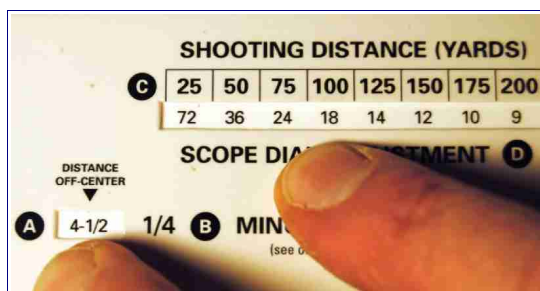


***Calcoli tattici durante la Battaglia d'Inghilterra***

## Scheda - Il regolo balistico



**Già a 2.000 metri è difficile identificare il bersaglio: come colpirlo?**



Per il tiro di precisione non basta una mano ben ferma, per centrare un piatto a 2,5 km di distanza bisogna effettuare anche numerosi calcoli: il bersaglio non può essere visto ad occhio nudo ed il proiettile è soggetto a diverse forze devianti. Queste eccezionali prestazioni sono rese possibili dalle moderne ottiche e nella seconda guerra ci si accontentava di fare centro a ca. 1,5 km, un risultato comunque ragguardevole.

A tali distanze il proiettile subisce innumerevoli influenze esterne ed un solo millimetro di deviazione non gli permetterà di raggiungere il bersaglio. Il mirino ottico (cannocchiale) deve essere tarato con precisione, addirittura in decimi di grado, e se nei poligoni si utilizza il computer balistico sul campo bisogna avere strumenti robusti ed affidabili: per compiere questa "mission impossible" dovremo utilizzare il regolo.

Bisogna conoscere, per apportare le necessarie correzioni:

- distanza, per calcolare quanto il proiettile si abbasserà lungo la traiettoria;
- velocità del proiettile, dipendente dalla carica. Per garantirne l'omogeneità i tiratori preparano personalmente le munizioni utilizzando un regolo specifico per determinare la quantità di polvere;
- temperatura, che influenza la velocità: una differenza di 10°C rispetto alle condizioni standard non permetterà di colpire il bersaglio;
- altitudine, più si è in alto meno l'aria è densa ed il proiettile sarà quindi più veloce;
- pressione barometrica, per lo stesso motivo;
- componente laterale del vento, che devierà la traiettoria;
- componente frontale del vento, che rallenterà od accelererà la traiettoria;
- angolo di elevazione, cioè di quanto il bersaglio è più in alto od in basso del tiratore, per compensare gli effetti della gravità;
- distorsione della canna causata dal calore in caso sia necessario un secondo colpo.

Il tiro di precisione è un affare da matematici e il regolo non manca mai nella borsa delle munizioni.

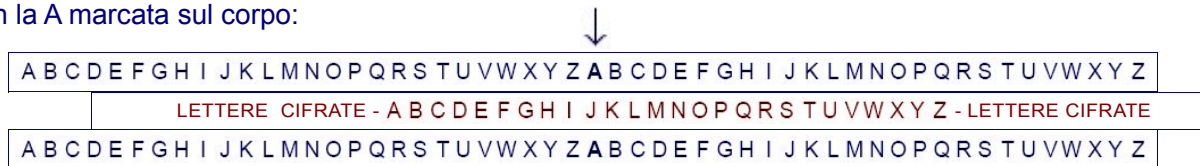
Anche utilizzando mitragliatrici, obici e lanciarazzi bisogna risolvere i problemi di mira e spesso le fabbriche progettano regoli specifici per le loro armi. Questo vale anche per le artiglierie pesanti e niente è preferibile al nostro strumento, spesso reclamizzato come "L'unico calcolatore che non si guasterà mai sul campo".

## Scheda - Il regolo crittografico

Il regolo crittografico è un'invenzione di Leon Battista Alberti, pubblicata nel *"De Componendis Cyphris"* del 1466. Una spiegazione esauriente è fuori da questo tema quindi semplificherò al massimo; supponiamo di avere un regolo come questo, con la parte centrale scorrevole:



La radio ha trasmesso 50 sequenze di 5 lettere, noi sappiamo dal Comando che dobbiamo copiare solo quelle dalla 10° alla 15°. Eccole: **J K K J W M X W J C N U J C X B R I R X W N G G G**. Sappiamo inoltre che la chiave segreta di oggi è la lettera "J" e sposteremo lo scorrevole fino a far combaciare la J con la A marcata sul corpo:



Leggiamo adesso le lettere del messaggio sullo scorrevole, assegnandogli il valore di quelle situate immediatamente sopra o sotto:

<b>J</b>	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>J</b>	<b>W</b>	<b>M</b>	<b>X</b>	<b>W</b>	<b>J</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>U</b>	<b>J</b>	<b>C</b>	<b>X</b>	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>I</b>	<b>R</b>	<b>X</b>	<b>W</b>	<b>N</b>	<b>G</b>	<b>G</b>	<b>G</b>
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
A	B	B	A	N	D	O	N	A	T	E	L	A	P	O	S	I	Z	I	O	N	E	X	X	X

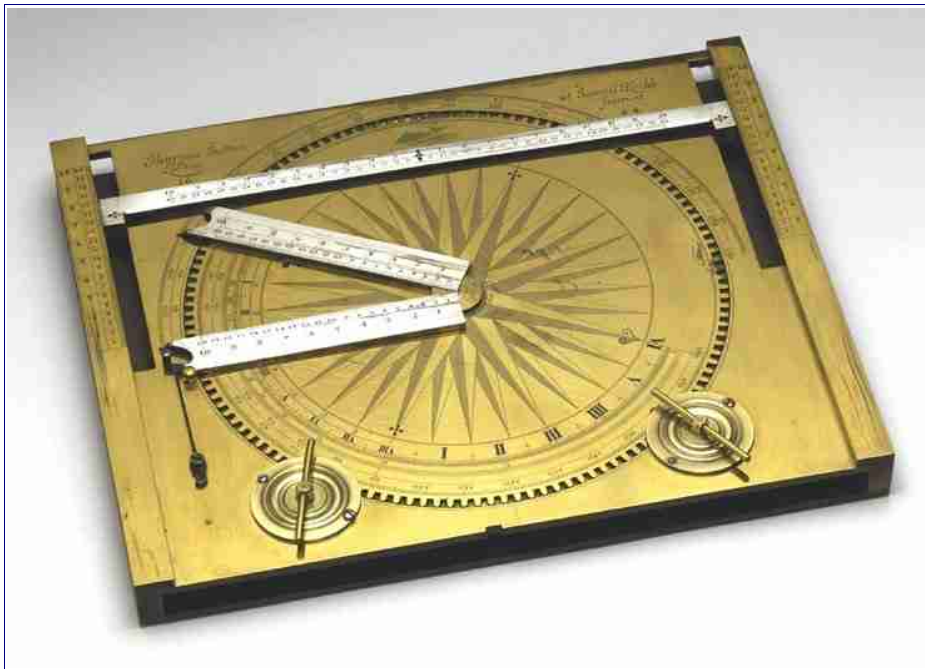
Le ultime tre lettere servono solo per completare la sequenza di cinque e quindi leveremo le tende al più presto. Chiaramente questo non è un cifrario sicurissimo ma ci sono molti modi per migliorarlo, inserendo più chiavi od utilizzando i mille trucchi disponibili per complicare le cose. Ricordiamoci che la radio ha trasmesso diversi gruppi di lettere ma solo noi sapevamo quale andava decifrato, il nemico impiegherà molto tempo prima di comprendere il messaggio e per quel momento saremo già lontani. Era infatti sufficiente ritardare la lettura dei dispacci fino a quando non fossero più attuali, considerando che il lavoro doveva essere fatto a mano da personale specializzato.

Non certo un compito facile ed uno dei primi computer è stato il "Colossus", costruito dagli inglesi nel 1944 proprio per decifrare rapidamente le comunicazioni nemiche.



**Decifrazione dei dispacci radio, notare il regolo in mano all'operatore**

## Le macchinette di Morland e Poggi

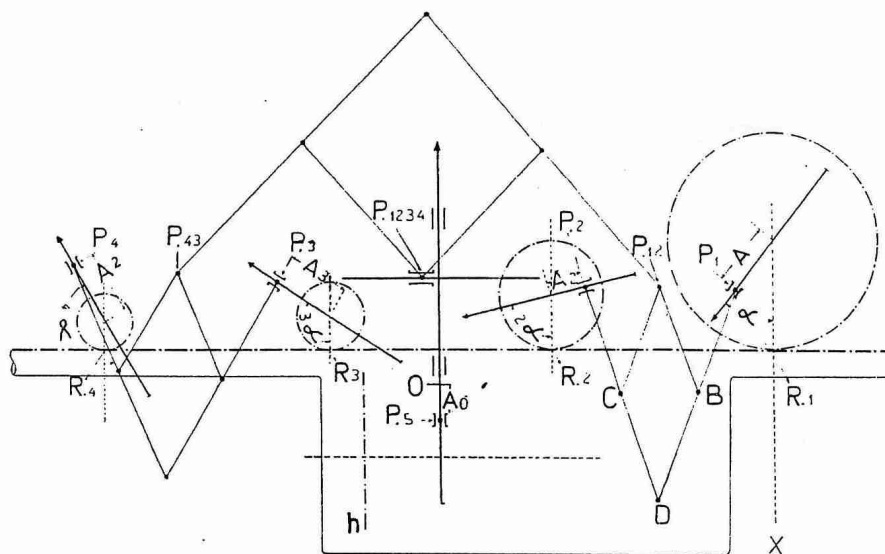


**La "Trigonometry Machine" di Samuel Morland, ca. 1670**

Un gallo costa 5 euro, una gallina 3 euro e 3 pulcini 1 euro. Con 100 euro compriamo 100 di questi pennuti: quanti galli, galline e pulcini abbiamo comprato?

Questo problema, proposto per la prima volta nel 468 d.C. da Chang Ch'iu-Chin, non è poi tanto semplice come sembra, si tratta infatti di un sistema a due equazioni e tre incognite di cui bisogna trovare le soluzioni intere:  $x + y + z = 100$  pennuti e  $5x + 3y + z/3 = 100$  euro.

E' lodevole ma faticoso risolverlo con carta e penna (sono 4 galli, 18 galline e 78 pulcini) ed un sistema per la risoluzione automatica dei sistemi lineari venne studiato da Samuel Morland già nel XVII° secolo. Morland realizzò alcune "Trigonometry Machine", una delle quali donata a Cosimo III de' Medici, ma il loro funzionamento era incerto ed un calcolatore per il tracciamento grafico delle funzioni lineari intere venne riproposto dal Prof. Lorenzo Poggi (Università di Pisa) alla fine degli anni '30. L'entrata in guerra ne impedì lo sviluppo e dell'unico esemplare costruito, che sembrava funzionare molto bene, non resta più traccia.



**Schizzo della "Macchinetta per calcoli algebrici" di Poggi, 1937**





*Fabbrica AEG, Berlino ca. 1920*



*Concorso di "Miss Regolo Calcolatore Oklahoma", ca. 1945*

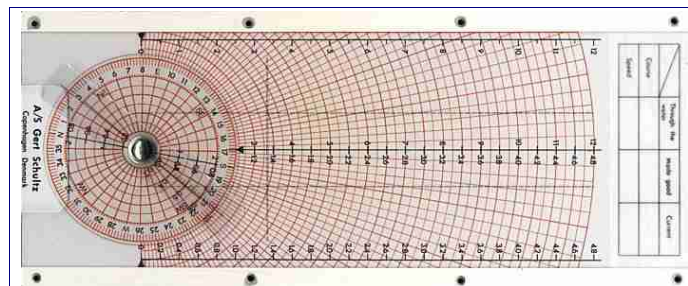
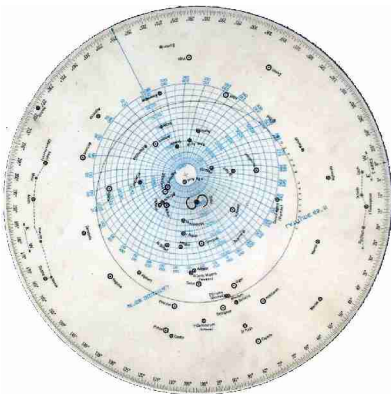
## I regoli nautici

I naviganti hanno da subito utilizzato il Compasso di Proporzione e la Gunter's Rule, ma i calcoli per determinare il punto nave astronomico devono essere precisissimi (l'errore massimo accettabile è dello 0,02%) e non appena furono disponibili si preferirono le tavole logaritmiche. Il Compasso e la Gunter's Rule rimasero a bordo come calcolatori generici ed erano ancora in commercio nel secondo dopoguerra. Le tavole sono però lente da consultare e per i sommergibili, che hanno l'esigenza di operare rapidamente, si costruirono regoli speciali con lunghissime scale a spirale poi utilizzati anche per la navigazione aerea: impiegando un quarto d'ora per calcolare la posizione ci saremo allontanati da essa centinaia di chilometri ed un bravo pilota si sbrighava in meno di 5 minuti.



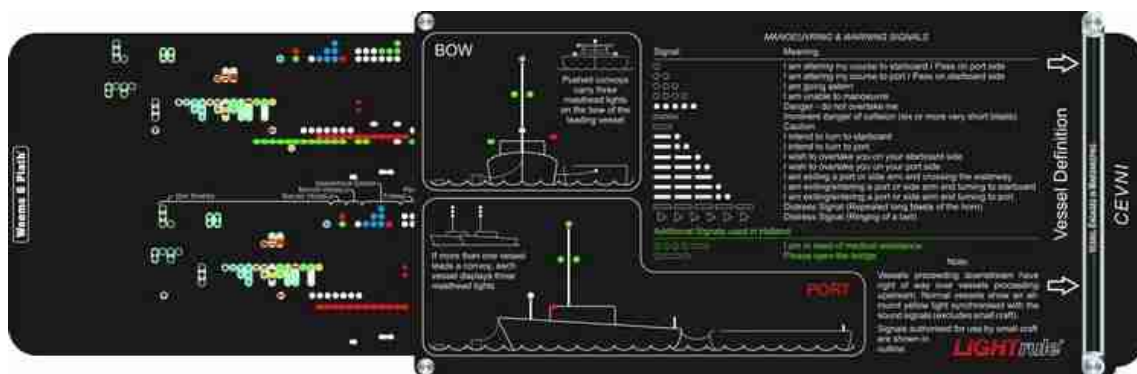
**Regolo specialistico per la navigazione astronomica, ca. 1944**

Nel 1936 apparvero le prime tavole che riportavano altezza ed azimut delle principali stelle per ogni luogo ed istante e i regoli vennero relegati per la navigazione stimata. Il loro uso diminuì progressivamente sulle navi mentre restano sempre indispensabili a bordo degli aerei.



**Regoli per l'identificazione degli astri e per la navigazione stimata**

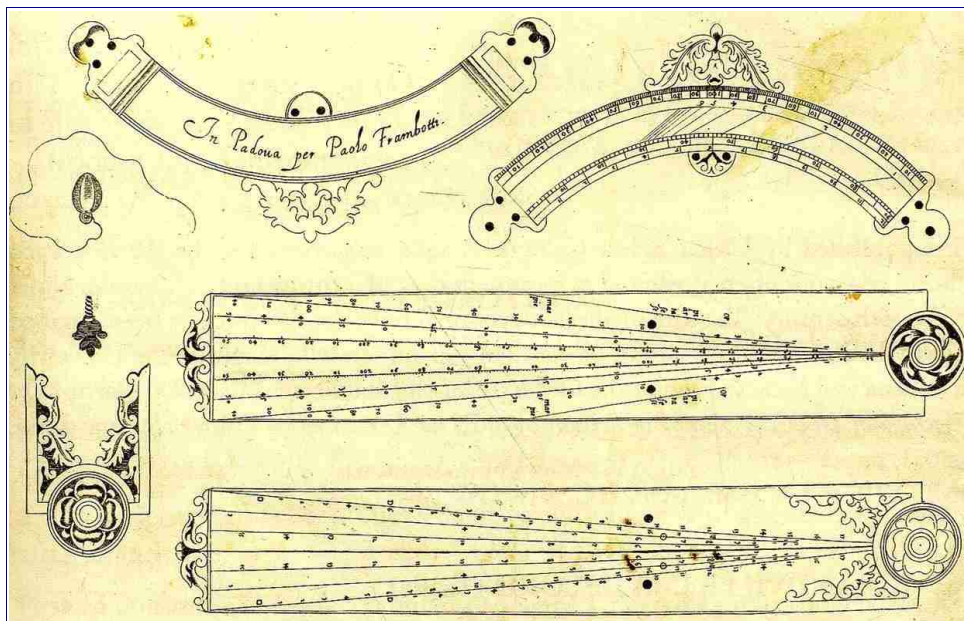
Oggi a bordo si trovano solo dei regoli che, sullo stile delle slide chart illustrate a pagina 102, aiutano il navigante a riconoscere le stelle o luci di navigazione e le boe nei passaggi pericolosi. Una breve storia della navigazione si trova a pagina 126.



**Regolo per il riconoscimento delle luci di navigazione**

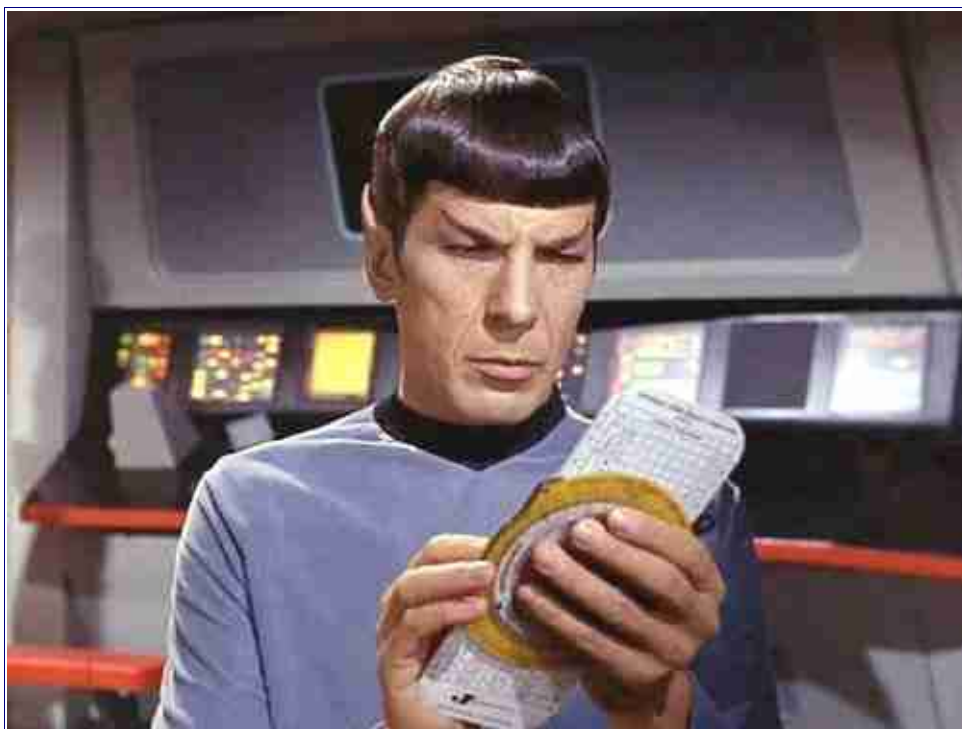
## I regoli aeronautici

Indispensabile per la navigazione stimata il regolo fu l'unico calcolatore di bordo fino a metà degli anni '70, ma la sua affidabilità lo rende ancora obbligatorio a bordo come strumento di emergenza.

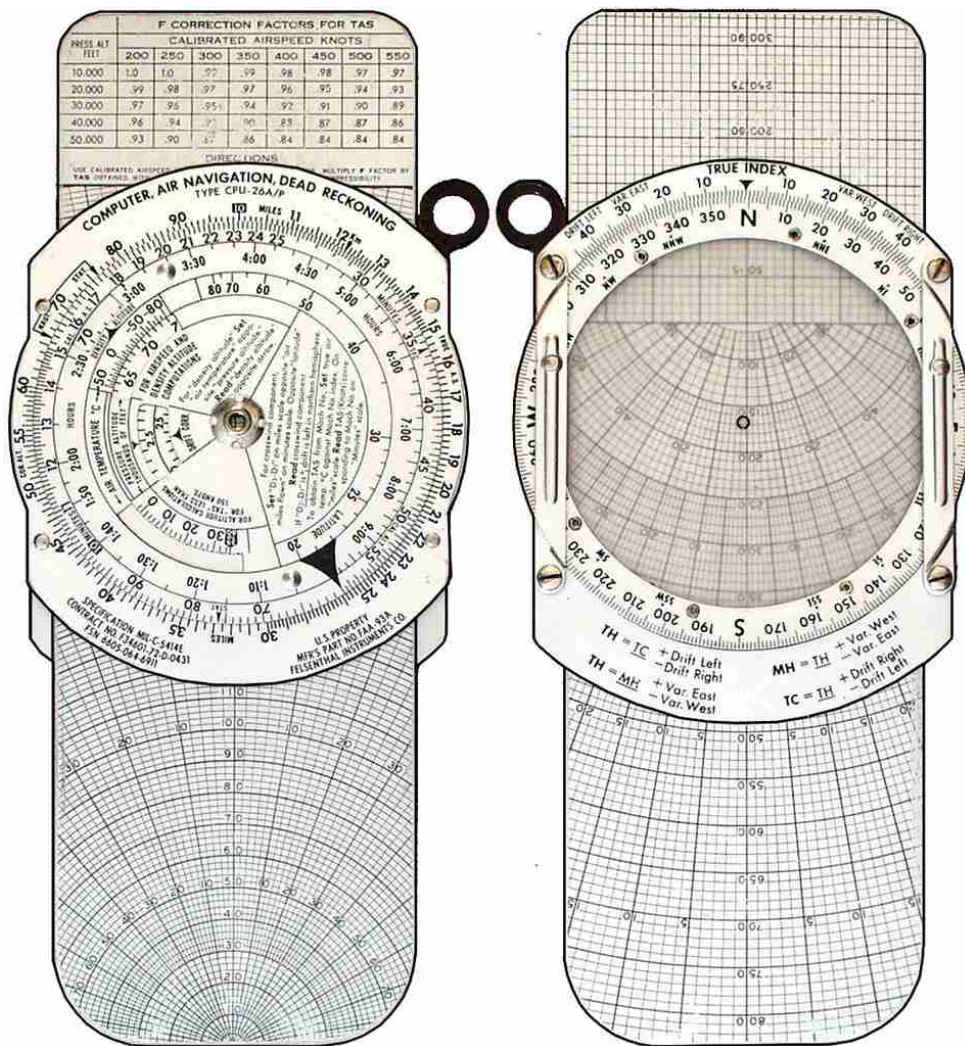


**1597: Galileo inventa il "Compasso Geometrico et Militare"**

I problemi della navigazione sono sempre gli stessi da tempo immemorabile ed un moderno regolo aeronautico, oltre che riprendere alcune funzioni del Compasso di Galileo, non è tanto diverso dai grafici disegnati nel medioevo per la determinazione del punto nave. I piloti devono trovare la propria posizione ed effettuare diverse conversioni di misure con grande rapidità ed in questo i regoli sono davvero imbattibili. Non dimentichiamo poi che, fino all'invenzione del GPS, si utilizzava correntemente il sestante (pag. 126): gli ausili radio non sono infatti sufficienti per le trasvolate oceaniche.

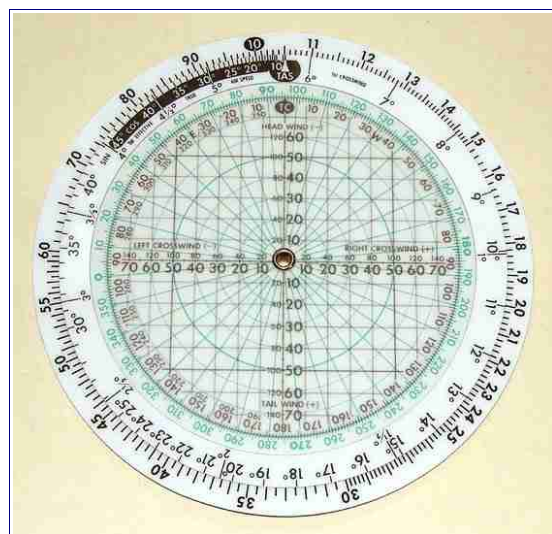
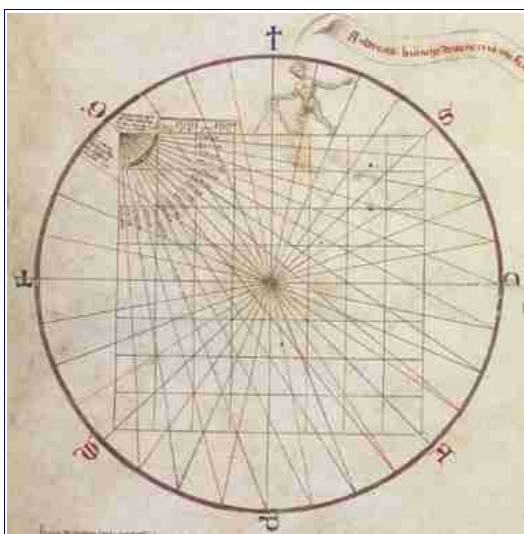


**2266: l'ultimo modello del "Compasso" sull'Enterprise**



**Il classico regolo E6-B, il più usato in aviazione**

Inventati negli anni '30 il loro uso è così istintivo che sono spesso preferiti ai calcolatori elettronici, risolvono tutti i problemi del volo, trovano l'angolo di deriva causato dal vento e sono indispensabili per convertire la giungla di unità di misure in cui si deve districare il pilota: in aviazione si utilizzano indifferentemente metri, piedi, miglia nautiche, miglia terrestri, chilometri, litri, galloni, ecc.

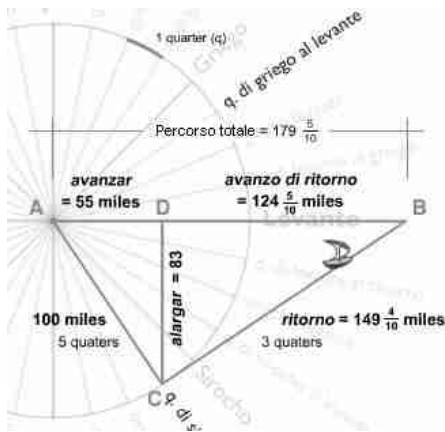


**Grafico "Raxon de Martelojo" del 1430 e regolo aeronautico moderno**

## Scheda - Il regolo da pilota

La parte frontale dell'E6-B serve per effettuare conversioni e calcolare distanze, tempi e consumi; un modello semplificato da ritagliare si trova a pagina 138. Il retro, ispirato al grafico Raxon de Martelojo\* illustrato nella pagina precedente, si utilizza per risolvere i problemi della navigazione stimata: vediamo come determinare le correzioni di rotta e velocità necessarie per compensare il vento.

Risolviamo un problema col Martelojo:  
Dovevo navigare 200 miglia verso levante, ma il vento mi ha permesso solo una rotta verso "siroco al ostro" in cui ho percorso 100 miglia. Quanto dovrò navigare verso "griego al levante" per tornare in rotta?



Risposta: 149,4, ed avrò avanzato lungo la rotta originale prevista di 179,5 miglia.

Esempio: la nostra rotta è di 090°, la nostra velocità di 125 nodi e il bollettino meteo ci informa che abbiamo un vento proveniente da 230° a 18 nodi. Quanto ci accelera o rallenta questo vento e di quanto dobbiamo correggere la rotta per contrastarlo?

1. Posizioniamo TRUE INDEX su 230°.
2. Contiamo 18 linee dal foro centrale verso il TRUE INDEX e marchiamo un punto a matita alla 18° linea ( Fig. 1).
3. Ruotiamo il disco trasparente fino a posizionare 090° su TRUE INDEX.
4. Facciamo scorrere il corpo centrale fino a quando il punto che abbiamo marcato non combacia con la linea dei 125 nodi (Fig. 2).
5. Leggiamo la nostra velocità al suolo (138) nel foro centrale.
6. Il punto marcato è 5° sulla destra, la nostra nuova rotta sarà quindi di 095°.
7. Siamo leggermente più veloci e possiamo rallentare di 13 nodi per rispettare i tempi del piano di volo.

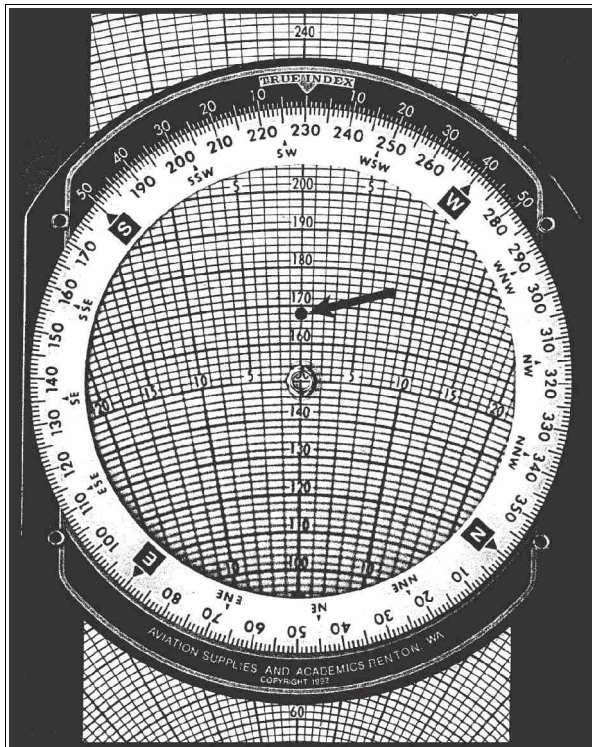


Fig.1

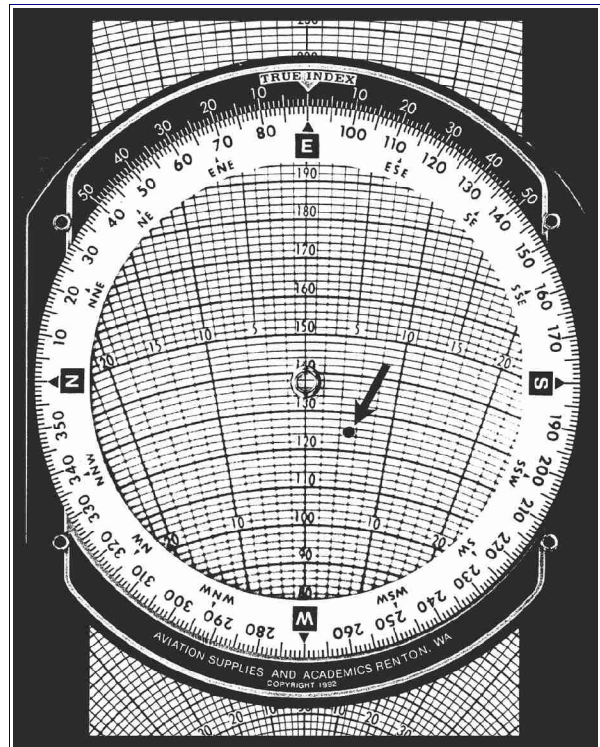


Fig.2

\* "Raxon de Martelojo" in veneziano significa "Regola del martelletto": il grafico si usava infatti allo scoccare dell'ora (segnalata da un colpo di martelletto sulla campana) per controllare la rotta.

## Gli orologi da pilota

Dagli anni '50 i regoli aeronautici E6-B sono stati inseriti, in versione ridotta, nella corona esterna di orologi speciali destinati ai piloti. Il modello più noto è il Breitling *Navitimer* a cui seguì il *Cosmonaute*, realizzato per la NASA con la divisione in 24 ore in quanto nello spazio non si distingue il giorno dalla notte. Fu il primo orologio ad effettuare un volo orbitale, al polso di Scott Carpenter nella missione Mercury-Atlas 7 del 1962, ma non era impermeabile e si rovinò al momento dell'ammarraggio venendo sostituito dall'Omega *Speedmaster* che resisteva a tutto: nei test lo mettevano a bollire con gli spaghetti! Ormai gli orologi da pilota sono poco utilizzati ma continuano ad essere prodotti e restano un buon sostituto di emergenza al più grande E6-B: risolvono tutti i calcoli necessari per la navigazione aerea venendo così chiamati "gli strumenti di bordo al vostro polso". Si manovrano ruotando la corona e possono eseguire moltiplicazioni e divisioni come un normale regolo circolare.



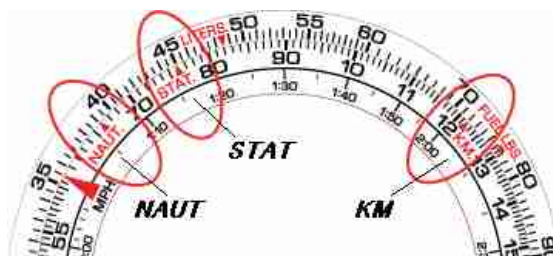
**24 ore per il Breitling Cosmonaute e Scott Carpenter in una pubblicità del 1963**

### Scheda - Calcolare con l'orologio da pilota

Questi orologi sono utilissimi in viaggio per convertire valute o misure, ma ricordatevi che la posizione dei decimali è relativa: 0,9, 9, 90, 900 o 9.000 si leggono comunque 9 e bisogna tenere presente se si stanno trattando decine, centinaia o migliaia. Vediamo un paio di esempi.

Per determinare la quantità di combustibile richiesta per un volo di 1h e 40' con un consumo di 240 galloni/h (in basso a sx):

- allineare il "24" della scala esterna con lo SPEED INDEX: "1:40" della scala interna corrisponderà al "40" della esterna ed avremo quindi bisogno di 400 galloni per effettuare il volo.



Per convertire 45 miglia americane (statute miles) in miglia nautiche e km (in alto a dx):

- allineare la scritta "STAT" con il "45" della scala esterna: sopra la scritta "NAUT" leggeremo ca. 39 miglia nautiche e sopra la scritta "KM" ca. 72 km.

Non si può operare più rapidamente e se tutto ciò vi ha intrigato acquistatene uno: oltre all'intramontabile *Navitimer* vi sono modelli (Casio, Citizen, ecc.) per tutte le borse e il divertimento è assicurato.



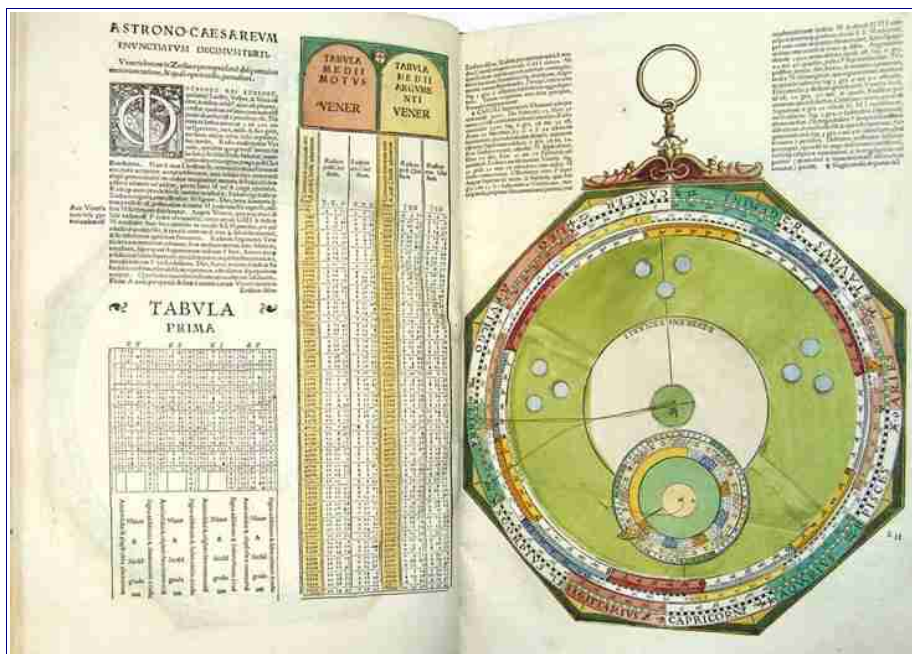
**Fino agli anni '70 sugli aerei si utilizzava esclusivamente il regolo, oggi a bordo è ancora obbligatorio: funziona sempre in qualsiasi situazione!**

## Volvelle e slide chart

Le volvelle, o infografiche, sono strumenti formati da due dischi concentrici, normalmente di cartoncino, di cui il superiore ha una maschera traforata che mostra le informazioni marcate sul disco inferiore a seconda della rotazione, come il disco orario che abbiamo in auto. Non hanno scale logarithmiche ed utilizzano spesso i principi della nomografia. Le slide chart sono uguali ma di forma rettangolare.

Sostituiscono l'esplorazione manuale delle tabelle per identificare gli astri, aiutare nel primo soccorso, calibrare le miscele di colori o scegliere il vino per un pasto elegante. Fu Matthew Paris, un monaco benedettino del 1200, il primo ad integrarne una all'interno di un libro. Al tempo i tomi erano pesantissimi e per consultarne le tabelle circolari, utilizzate per calcolare le festività religiose, bisognava girarvi attorno: Paris si accorse che era più comodo far girare le tabelle ed applicò un disco di carta mobile alle pagine.

Petrus Apianus nel 1500 creò vere opere d'arte, con incisioni dipinte a mano e destinate alle corti, ma con l'introduzione della stampa cominciò la produzione di modelli più piccoli ed economici.



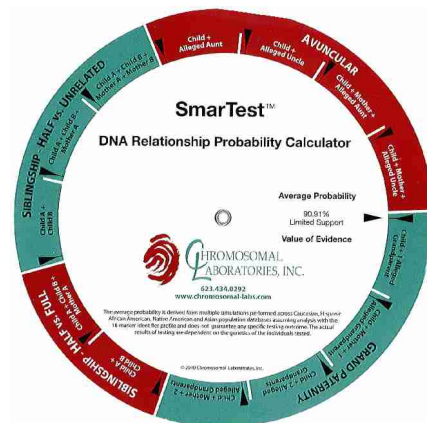
*Volvelle inserita nelle pagine di un libro, Petrus Apianus 1540*

Dalla fine dell'800 le volvelle furono diffusissime ed ancora oggi sono molto apprezzate, trovano infatti rapida ed istintiva soluzione ad una innumerevole quantità di problemi.



*Due volvelle del secondo dopoguerra*



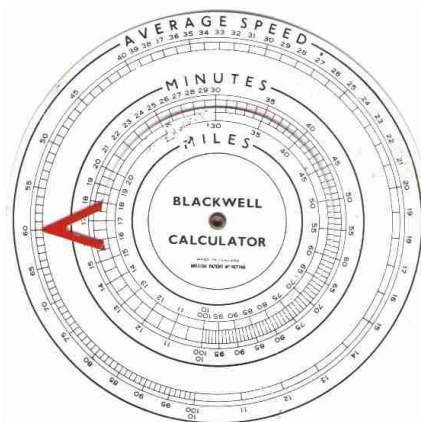


**Disco orario con calcolatore di consumi e volvelle per il calcolo del DNA**



**Volvelle inserita nelle pagine di una rivista, 2012**

### Scheda - La volvelle da competizione



Nelle gare di regolarità è necessario mantenere medie di tempo o di velocità prestabilite. Il Blakwell Calculator, in produzione da oltre 50 anni, fornisce le soluzioni a tutti i problemi che si presentano in gara. Ecco alcuni esempi.

Dobbiamo percorrere 42 km alla velocità esatta di 56 km/h, quanto tempo impiegheremo?

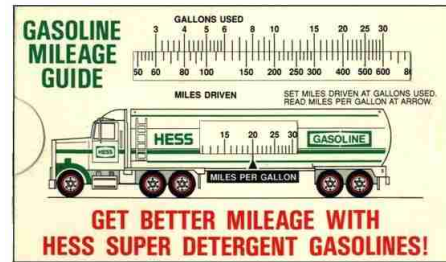
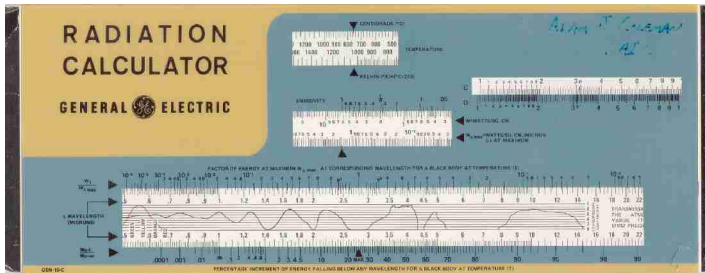
- posizioniamo la freccia rossa su 56 nella scala "Average Speed" e guardiamo la scala dei minuti sopra il numero 42: 45 minuti.

Dobbiamo pilotare per 24 minuti ad una media di 80 km/h, quanta strada percorreremo?

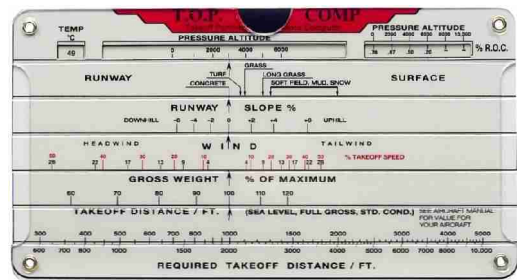
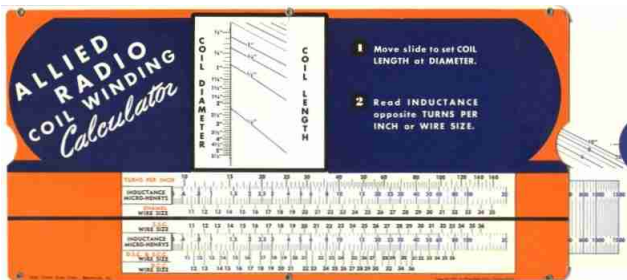
- posizioniamo la freccia rossa su 40 nella scala "Average Speed" e guardiamo la scala delle miglia sopra il numero 24: 32 km.

Si possono convertire misure, determinare i consumi orari e calcolare indifferentemente in miglia o chilometri, ma con i numeri superiori a 10 abbiamo gli stessi problemi che si presentano col regolo: in questo caso però sappiamo senza indugi se stiamo viaggiando a 9,5, 95 o 950 km/h!

Le slide chart sono volvelle di forma rettangolare, molto simili ai regoli, costruite anch'esse in cartoncino; la loro diffusione cominciò negli anni '40 e vengono comunemente chiamate *perrygraf* dal nome del principale produttore, tuttora attivo. Ideali come supporto pubblicitario trovano impiego in svariati campi, specialmente nel settore degli assemblaggi dove consentono di identificare rapidamente le specifiche richieste.

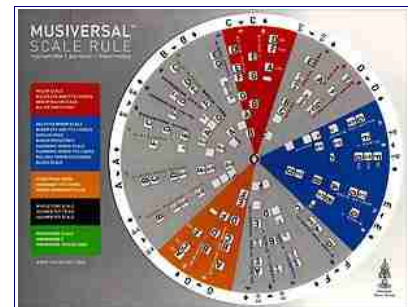


*Slide chart per il calcolo delle radiazioni e del consumo carburante, anni '50*



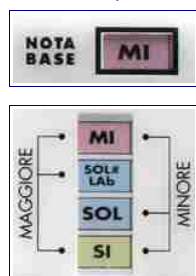
*Perrygraf del 1940 e slide chart aeronautica moderna con nomogramma di decollo*

**Scheda - La slide chart musicale**



*Il regolo Trascacco e il Musiversal, specifico per il Jazz*

I musicisti hanno necessità di trasportare un brano musicale da una tonalità ad un'altra, individuare le principali scale in qualsiasi tonalità, visualizzare una data nota sul rigo musicale in chiave di violino e di basso, tradurre dalla notazione italiana a quella internazionale.



Proviamo a ricavare, utilizzando il regolo Trascacco, le triadi di note che compongono gli accordi maggiori, minori e diminuiti di tutte le tonalità.

Esempio: per costruire un MI maggiore (MI+) o un MI minore (MI-) o un MI diminuito (MI dim) trascinare il cursore fino a leggere nella finestra della nota base MI; ora sulla finestra degli accordi si potrà leggere la triade di note per il maggiore MI, SOL# e SI, per il minore MI, SOL e SI e per il diminuito MI, SOL e SI.

Suonate adesso queste tre note insieme od arpeggiate: starete eseguendo un MI maggiore, minore o diminuito.

## I regoli fotografici

Per realizzare belle fotografie bisogna prima conoscere i dati indispensabili allo scatto: tempo di esposizione, apertura del diaframma e velocità dell'otturatore, dipendenti dalla luce esterna e dalla sensibilità della pellicola. Esistono quindi regoli logaritmici specifici, ai quali negli anni '30 fu aggiunto un misuratore fotovoltaico per determinare l'intensità della luce: l'informazione analogica è subito comprensibile e sono rimasti in produzione fino ad oggi con poche modifiche. I professionisti li considerano migliori dei programmi automatici e modelli simili vengono utilizzati in astrofotografia.

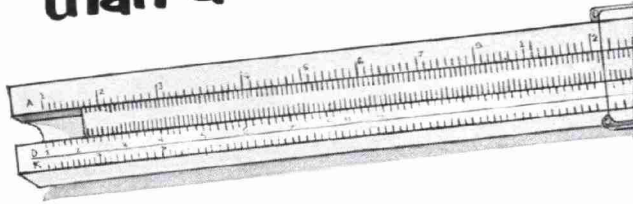


Primi regoli fotografici, inizio '900



Regoli Sekonic con misuratore fotovoltaico: 1954, 1960 e 2012 (© James Ollinger)

What's 500 times faster  
than a slide rule?



Today's quick answer to mathematical problems for engineers and designers is GEDA—the Goodyear Electronic Differential Analyzer. GEDA uses voltages and wave forms to compute in an hour the most complex math problems that would take 500 man-hours or more, using slide rule methods—acts as an “electrical brain” that can solve any problem from trajectories of space rockets to improvement of work-flow through factories.

The newest GEDA, Model L3, is smaller, more compact and easier to operate than other electronic computers—occupies no more space than the average desk. After brief instruction, clerical workers are able to operate GEDA.

A major supplier of computing equipment, Goodyear Aircraft has manufactured GEDA analyzers for five years—operates one of industry's largest computer application laboratories—and is now ready to supply the newest GEDA to industry and government.

Consider the possible applications in *your* plant for GEDA, the Goodyear Electronic Differential Analyzer. Then write for full information to: Goodyear Aircraft Corporation, Department 241, Akron 15, Ohio.

GEDA—T. M. Goodyear Aircraft Corporation, Akron 15, Ohio



**GOOD YEAR  
AIRCRAFT**

**OPPORTUNITIES UNLIMITED—for engineers!**

In addition to making and operating GEDA, Goodyear Aircraft is active in many fields, job opportunities exist in research, design development and manufacture of AIRPLANES • AIRSHIPS • HELICOPTERS • GUIDED MISSILES • ELECTRONIC COMPUTERS • AIRCRAFT COMPONENTS • GUIDANCE SYSTEMS • RADOMES • TRANSPARENT ENCLOSURES • REINFORCED PLASTICS • BONDED SANDWICH STRUCTURES • WHEELS AND BRAKES •

**RADAR STRUCTURES AND MANY OTHERS.** Submit brief resumé of your qualifications and experience or write for employment application and further details to Goodyear Aircraft Corporation, Akron 15, Ohio.

**Il computer analogico era facile da programmare ma diversi problemi costruttivi ne decretarono la fine: l'era analogica stava tramontando anche se il regolo restava il riferimento contro cui bisognava confrontarsi.**

## Il computer analogico

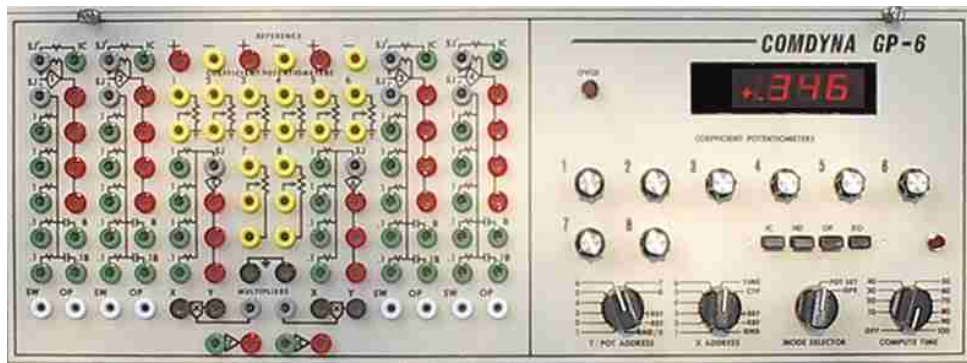


Oggi i computer vengono associati alla tecnologia digitale però agli esordi ne venivano costruiti anche di analogici, come il famoso Colossus utilizzato dagli inglesi per decifrare le comunicazioni militari tedesche.

Semplifichiamo all'estremo: misurando col voltmetro una pila da 1,5 volt leggeremo 1,5 volt. Aggiungiamone un'altra uguale e misurandole in serie (cioè una sull'altra) leggeremo 3 volt: abbiamo eseguito analogicamente l'operazione  $1,5 + 1,5 = 3$ .

Supponiamo ora di avere due potenziometri collegati ad una sorgente di 10 volt: possiamo regolare le tensioni al valore desiderato ed effettuare le addizioni ma, per alcune caratteristiche "logaritmiche" di questi componenti, la somma algebrica dei voltaggi in uscita è una moltiplicazione dei valori iniziali e possiamo quindi realizzare un calcolatore. Col regolo misuriamo distanze, qui invece tensioni.

Purtroppo è impossibile produrre in serie potenziometri dalle caratteristiche costanti e l'inquinamento radioelettrico disturba il funzionamento: questi ed altri problemi tecnici hanno impedito il successo del computer analogico, non più commercializzato dal 2005. Fu utilizzato dalla NASA ed è ancora utile in laboratorio per la soluzione di alcuni problemi particolari, specialmente balistici. E' stato anche proposto un modello portatile (foto in alto), ma l'inaffidabilità dei componenti ne ha decretato la fine e resta una curiosità poco conosciuta.



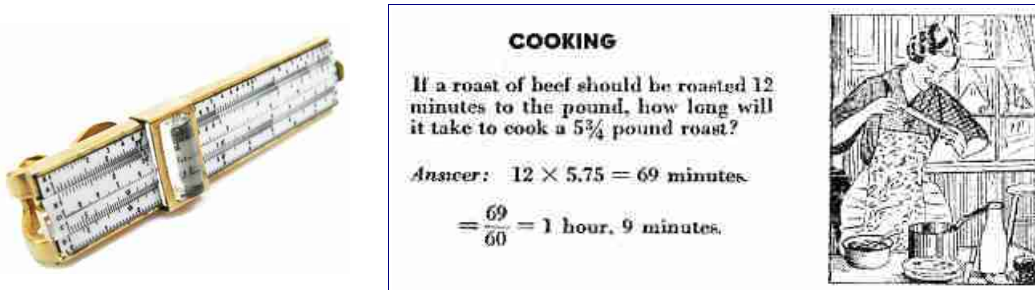
**Comdyna GP-6, computer analogico prodotto fino al 2005**



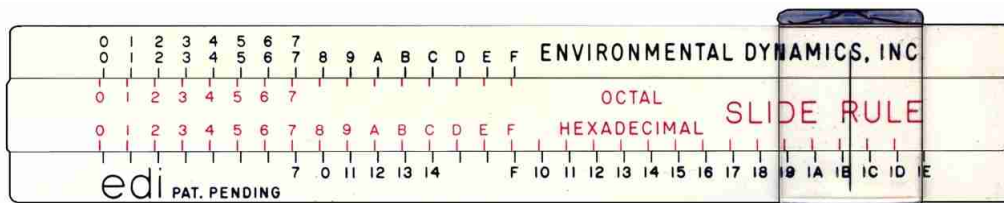
**Tanti potenziometri e voltmetri ma la signorina tiene in mano un tradizionale abaco: non si fiderà?**

## HP 35: la fine di un'epoca

I primi elaboratori elettronici apparvero verso il 1946 ma erano giganteschi e costosissimi, la stessa IBM pensava di venderne al massimo quattro l'anno, ed i regoli sembravano insostituibili. Non si immaginava un mondo senza di essi: servivano alle massaie in cucina, tracciavano le rotte sull'astronave di "Star Trek", apparvero sulla copertina di Playboy, vennero proposti in forma di gemelli e fermacravatta. Ne esistevano di tutti i tipi, la Walt Disney aveva un modello semplificato per i bambini, fu costruito in Braille per i non vedenti, con scale dedicate alla risoluzione di problemi statistici, ed anche in base esadecimale, ottale o binaria per i programmatori di computer. Lo si trovava inserito anche nelle addizionatrici tascabili viste a pagina 41: era il laptop dell'epoca, che spuntava immancabilmente dal taschino degli ingegneri. Un vero segno identificativo della categoria.

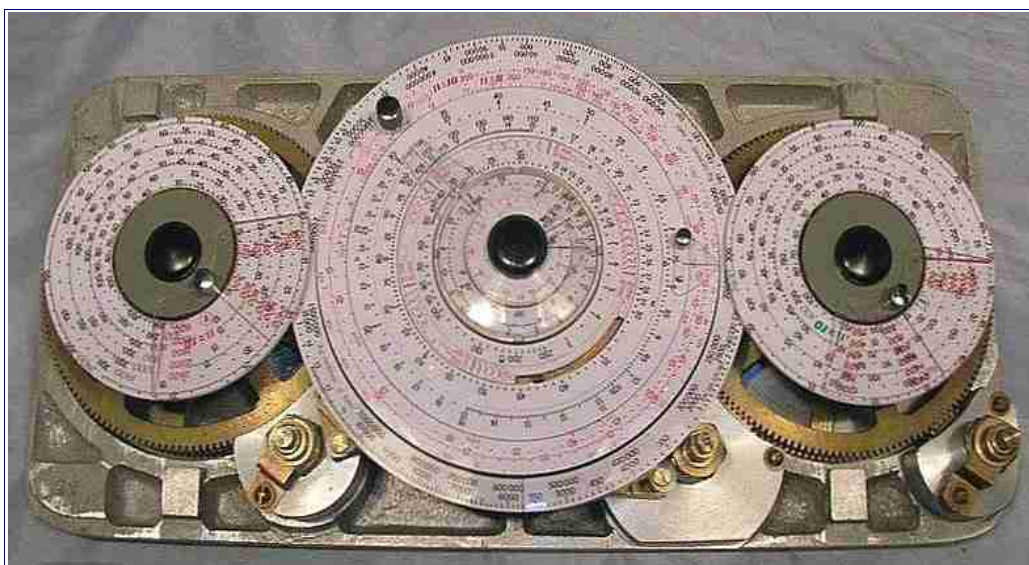


**Regolo fermacravatta ed istruzioni da un libro di cucina, anni '40**

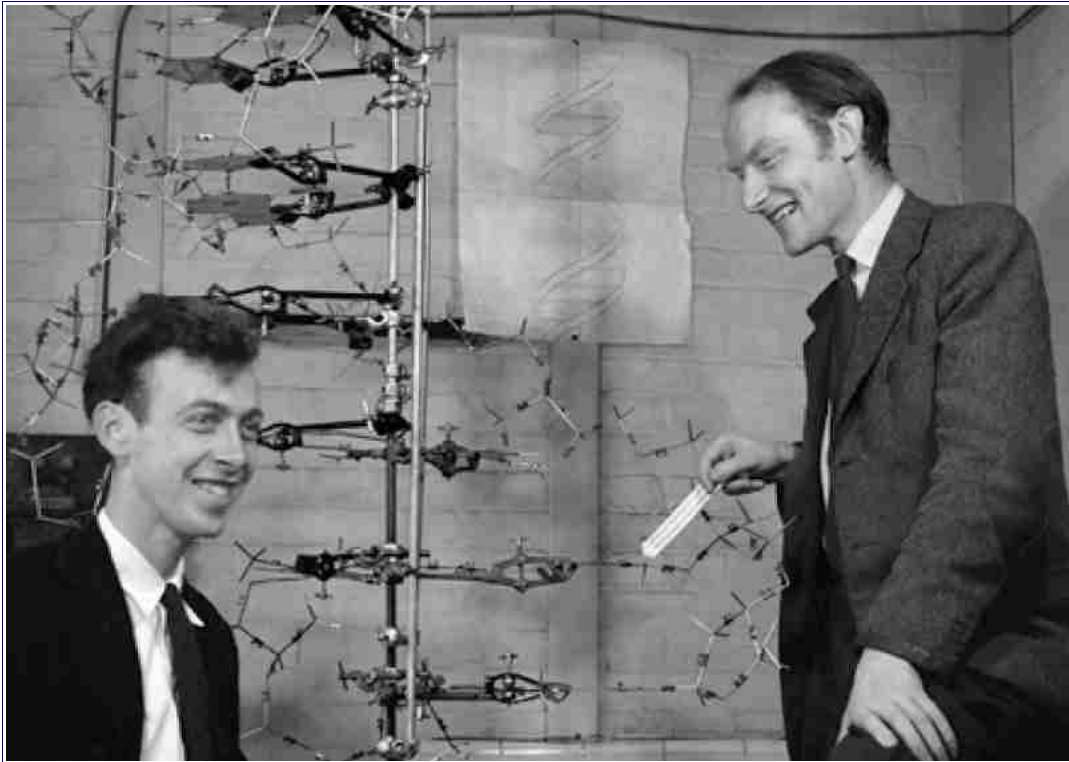


**Regolo in esadecimale per programmatore di computer**

Gli istituti di ricerca avevano locali dove gli ingegneri eseguivano manualmente i calcoli e la parola "computer" identificava l'operatore, non la macchina. Questo tipo di impiegati tornava sempre tardi a casa e le mogli erano chiamate "le vedove del regolo". Per i complessi calcoli del cemento armato esistevano calcolatori in cui diversi regoli interagivano meccanicamente velocizzando il lavoro.



**Regolo meccanizzato per il calcolo del cemento armato (© J. Fabregas)**



*Gli scopritori del DNA Francis Crick e James Watson col regolo tascabile, 1953*



*Cambia il mondo: il computer "portatile" arriva in Vaticano, siamo nel 1960*

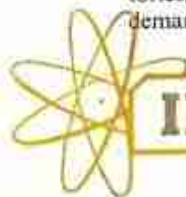


## 150 Extra Engineers

An IBM Electronic Calculator speeds through thousands of intricate computations so quickly that on many complex problems it's just like having 150 EXTRA Engineers.

No longer must valuable engineering personnel . . . now in critical shortage . . . spend priceless creative time at routine repetitive figuring.

Thousands of IBM Electronic Business Machines . . . vital to our nation's defense . . . are at work for science, industry, and the armed forces, in laboratories, factories, and offices, helping to meet urgent demands for greater production.



**IBM**  
1911-1988

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES

**I primi calcolatori, ingombranti e costosi, consumavano molta energia ma sostituivano 150 ingegneri muniti di regolo: il loro tempo era ormai arrivato.**



Nel 1969, dopo essere stato indispensabile nella progettazione dei vettori spaziali, il regolo venne infine utilizzato sull'Apollo 11 sbarcando sulla luna. Davvero una lunga carriera, iniziata più di 350 anni prima, però ...

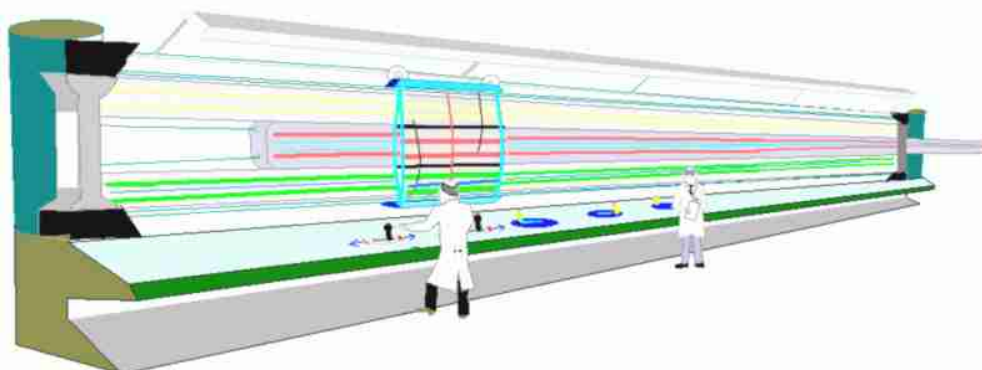


**Con Buzz Aldrin il regolo, nato nel XVII° secolo, è sbarcato sulla luna**



... i regoli sono precisi solo fino al terzo decimale ed occorre effettuare continue stime aiutandosi con l'esperienza. Approssimando per eccesso si creò il mito dei "vecchi oggetti robusti" ma il calcolo strutturale esigeva ormai risultati esatti, favorendo così lo sviluppo dei calcolatori elettronici commerciali. Questi furono progettati interamente coi regoli: Robert Ragen affermava di averne letteralmente consumati due per realizzare nel '63 il suo rivoluzionario Friden 130 (a sx.), ancora costoso ed ingombrante.

Per rispondere alle nuove esigenze di calcolo furono disegnati regoli sempre più complessi e in Unione Sovietica ne venne costruito uno, elettromeccanico, di ben 14 metri di lunghezza. Realizzato nelle officine Kalashnikov gli fu dato il nome del mostro biblico Behemoth, davvero appropriato per un simile gigante.



**Made in USSR: il più grande regolo mai concepito**

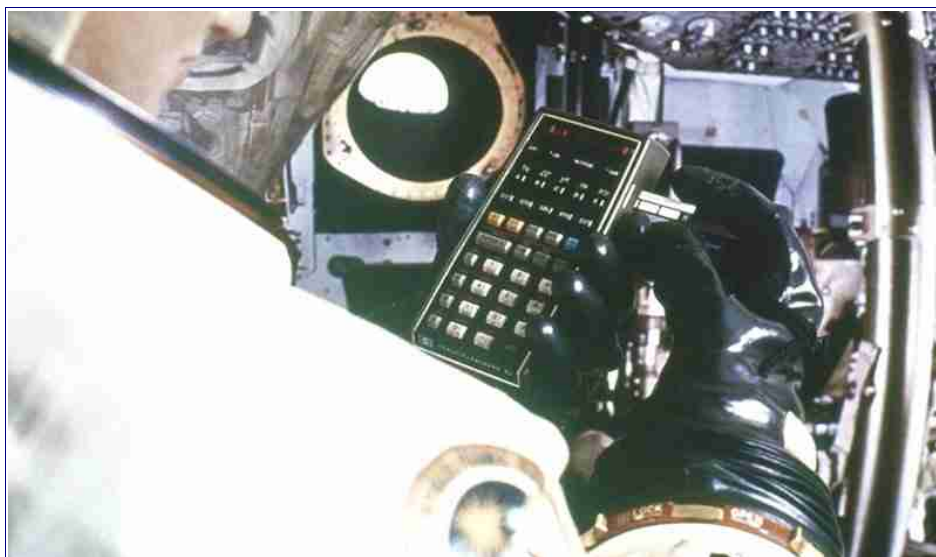
La tecnologia continuava a produrre nuovi calcolatori elettronici, ma la necessità di avere display valvolari vanificava le possibilità di miniaturizzazione e basso consumo offerte dai transistor: i regoli restavano ancora insostituibili e venivano chiamati familiarmente "slipsticks", bastoncini scorrevoli.

Il 1 febbraio del 1972 la Hewlett Packard, reclamizzandola come *"Innovativo regolo elettronico"*, mise in vendita la prima calcolatrice scientifica economica, 50 volte più piccola delle concorrenti e tanto moderna da essere ancora in commercio. Le funzionalità della nuova HP 35 erano irrinunciabili, non a caso *Forbes* la cita fra i 20 oggetti che hanno cambiato il mondo, e i calcolatori analogici scomparvero definitivamente dal mercato.



***La prima calcolatrice scientifica moderna: HP 35, 1972***

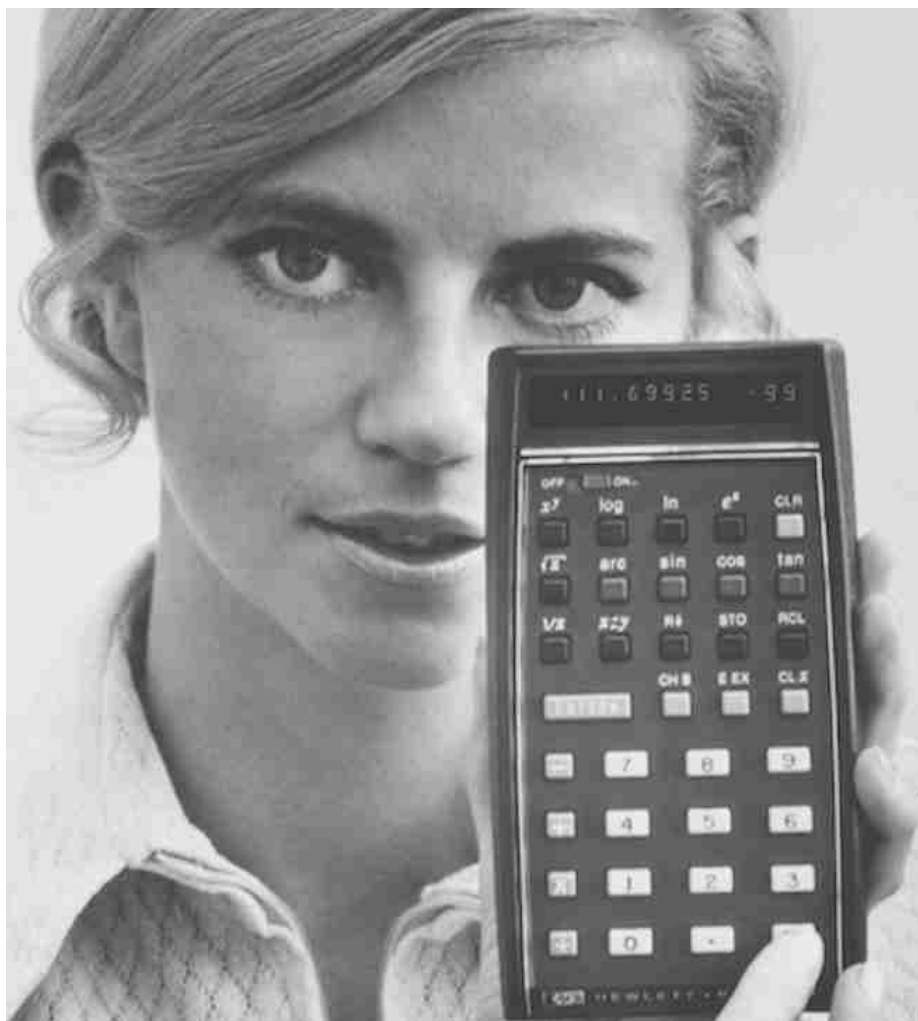
Poco tempo prima il presidente di una fabbrica di regoli dalla tradizione centenaria aveva dichiarato: *"Qualunque siano le sfide del futuro noi forniremo sempre gli strumenti di calcolo per affrontarle"*. Mai parole furono meno profetiche: 2 anni dopo la sua azienda cessava l'attività ed i regoli, prodotti nel corso dei secoli in oltre 60 milioni di esemplari, uscivano dalla storia ma ...



***Dal 1974 nelle missioni spaziali si utilizzò la nuova HP***

... il nostro "eroe", affidabile ed ecologico, è sempre indispensabile a piloti e militari e l'avventura forse non è ancora finita, come nel romanzo di fantascienza *"The feeling of power"* di Isaac Asimov che ipotizzando un ritorno agli antichi sistemi di calcolo si conclude con queste parole:

*"Nove volte sette - pensò Shuman con profonda contentezza - fa sessantatré, e non ho bisogno che me lo venga a dire una calcolatrice. La calcolatrice ce l'ho nella testa. E questo gli dava un senso di potenza davvero esaltante"*.



## The New HP Electronic Slide Rule Calculator

*Niente nome per le prime calcolatrici, erano solo “regoli elettronici”*

### Scheda - La HP 35

La HP 35 stracciò ogni record, il volume di vendite fu 10 volte superiore al previsto nonostante il prezzo molto sostenuto, e per la sua velocità di diffusione venne ribattezzata “l'assassina dei regoli”. Con la pressione di un tasto si eseguono all'istante tutte le funzioni trigonometriche e logaritmiche mentre il display, a LED rossi che limitano la vita delle batterie a sole 3 ore, permette di calcolare fino a 10 cifre decimali. Era finito il tempo di cercare i risultati interpretando le scale e l'analogico non poteva sopravvivere.

Il nome 35 deriva dal numero dei tasti ma le prime serie non lo riportavano, inutile caratterizzare un prodotto in assenza di concorrenti! Il suo funzionamento è particolare: utilizza il principio logico della notazione polacca inversa (RPN), ideato negli anni '20 da Jan Łukasiewicz, che permette di descrivere qualsiasi formula senza utilizzare parentesi. Prima si inseriscono gli operandi e poi gli operatori:  $(4 + 5) \times 6$  si digita come 4 5 + 6 x e quindi manca il tasto = al quale siamo abituati, sostituito da ENTER. Con la RPN è possibile effettuare le operazioni eliminando i problemi dovuti alle parentesi e alla precedenza degli operatori (prima la divisione, poi l'addizione ecc.). Per fare un esempio troviamo l'ipotenusa di un triangolo rettangolo coi lati di 3 e 4 cm: **3** **ENTER** **x** **4** **ENTER** **x** **+** **x<sup>y</sup>** risultato **5**. Col regolo è ben altro lavoro.

Cavallo vincente non si cambia e la 35 rimane sempre in listino come HP 35s. Naturalmente il display è digitale ma conserva ancora tutte le caratteristiche di un tempo, compresa la notazione polacca inversa. Il logo però è riportato in bella vista: oggi la concorrenza non manca di certo.

# PLAYBOY

APRIL 50 cents

ENTERTAINMENT FOR MEN

IN THIS ISSUE

PLAYBOY'S  
WEEKEND  
HIDEAWAY



PLANS FOR  
A WONDERFUL WEEKEND

**Il regolo era così conosciuto e compenetrato nella società da apparire sulla copertina di Playboy: la matematica talvolta può essere anche sexy!**

## Conclusione

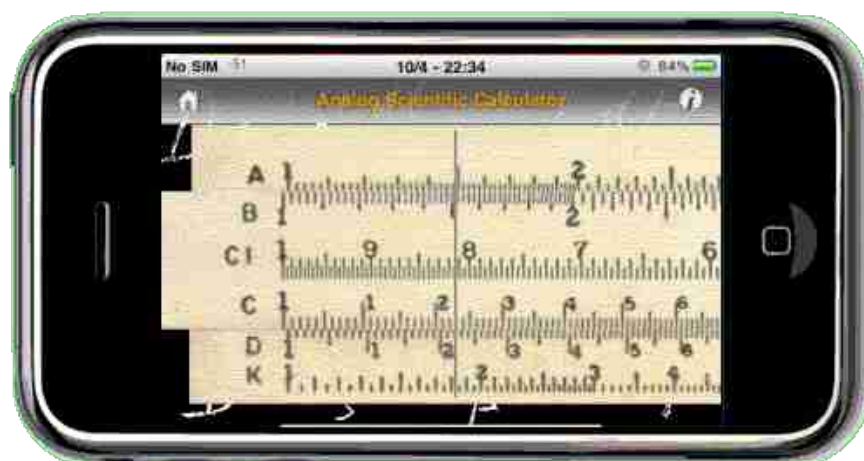
Siamo arrivati sulla luna grazie a regoli calcolatori e pascaline ma oggi i ragazzi, che hanno nel cellulare maggior potenza di calcolo dei primi Shuttle, non superano facilmente gli esami di matematica.

Tutto il mondo ha problemi con le ultime generazioni di studenti ma solo in Italia si sente dire, con una punta di orgoglio, *"non capisco niente di matematica"*. Pochi la capiscono, solo noi però ce ne vantiamo! Negli anni '50 eravamo all'avanguardia nella progettazione dei grandi computer: il super calcolatore "CEP" di Pisa era apprezzato in tutto il mondo, i microprocessori sono stati inventati da Federico Faggin ed il primo "PC" commerciale fu costruito dalla Olivetti nel 1964. Venivamo ammirati come leader del settore, poi invece ...



... siamo diventati un paese dove i ragazzi hanno spesso difficoltà con frazioni e decimali; una piccola inchiesta mi ha svelato che, per molti studenti,  $2 + 3 \times 4$  fa 20 e non 14! Con il regolo invece gli alunni diventano subito bravissimi e le pascaline aiutano i più piccoli a comprendere facilmente l'addizione e il riporto. Chi conosce il calcolo utilizzerà il computer come un telescopio, per guardare più lontano; chi lo ignora come gli occhiali, per supplire ad un difetto. Facile oggi coinvolgere i giovani nell'uso del regolo, basta scaricarlo come applicazione per iPhone: una

forma accattivante per farlo apprezzare, ma per esercitarsi sono sufficienti i regoli di carta che si trovano a pagina 137.



***Regolo virtuale per iPhone, l'analogico torna in veste elettronica***



Gli antichi strumenti di calcolo non fornivano direttamente i risultati ma assistevano l'operatore durante il procedimento e, sempre coscienti dei passi eseguiti, era difficile sbagliare. Grazie ad una calcolatrice modificata ho potuto osservare come invece oggi in pochi si accorgano di errori palesi e grossolani. Il display digitale non è "Parola Divina" ma va sempre osservato criticamente: non ci sostituisce, ci aiuta. Ricordiamoci di quanti contribuirono a creare il mondo moderno sfruttando la tecnologia, non appoggiandosi ad essa. Spesso purtroppo la utilizziamo come l'alcolista fa con il lampione: per sorreggerci e non per farci luce.

Einstein aveva un regolo meno potente di un qualsiasi iPhone ed il calcolo è ormai alla portata di tutti: quanti riusciranno a fare di meglio?

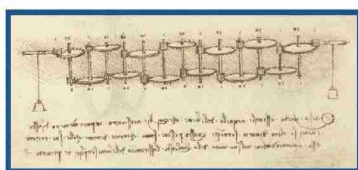
*F. P. L. Ravera*

## WAS THERE LIFE BEFORE COMPUTER?

il calcolo prima dell'era digitale

### Il mondo di oggi,

il paesaggio disegnato dai grattacieli, tutto ciò che noi associamo alla modernità, è stato progettato con sistemi e macchine di calcolo concepiti nel XVII secolo.



Leonardo da Vinci: probabile progetto di calcolatore meccanico

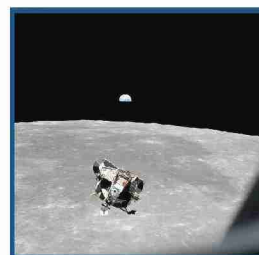
Einstein e Fermi utilizzavano un semplicissimo regolo calcolatore, il primo sottomarino nucleare disponeva solo di un' addizionatrice, il LEM atterrò sulla luna con a bordo un regolo tascabile.

I moderni computers sono stati realizzati grazie a questi antichi strumenti che ...

### ... sembravano insostituibili:

il compasso di Galilei arrivò a tracciare le rotte delle portaerei, i calcolatori di Pascal e Leibniz permisero la globalizzazione finanziaria; col regolo logaritmico inventato nel 1600 si progettò tutto, dall'ammiraglia di James Cook al Jumbo Jet.

Non si immaginava un mondo senza di loro: erano in dotazione sull'astronave di "Star Trek"!



Il Lem in orbita attorno alla luna: aveva a bordo un semplice regolo



Leibniz nel 1666 inventò il sistema binario base dei moderni computer

### Ma nel 1972

apparve la prima calcolatrice moderna e scomparvero regoli, eliche calcolatorie e pascaline. Nel 1980 erano già dimenticati.

Si era finalmente avverato il sogno di Leibniz:

*"non è conveniente che uomini eccellenti perdano, come schiavi, ore di lavoro per calcoli che potrebbero essere affidati a chiunque altro se si utilizzassero delle macchine"*

**Riscoprendo questi antichi strumenti domandatevi:  
che sarà domani delle nostre tecnologie?**

[www.nicolamarras.it/calcolatoria](http://www.nicolamarras.it/calcolatoria)

**SCIENZA  
società  
SCIENZA**

**Manifesto per esposizione di calcolatori**



**Divulgare regoli e calcolatori**

## Mostre ed esposizioni

Allo scopo di preservare 300 anni di storia del calcolo organizzo mostre, incontri e conferenze dove regoli, pascaline ed aritmografi possono essere provati dal pubblico.

Utilizzando la mia collezione illustro gli strumenti più significativi, dall'abaco alla calcolatrice HP 35, e la storia della navigazione astronomica. L'esposizione minima è facilmente trasportabile ma posso creare un vero percorso museale arricchendola con documentazione d'epoca, informazioni didattiche e simulazioni interattive. Molti pezzi sono rari e possono essere altrimenti visti solo allo Science Museum di Londra; la collezione completa è su [www.nicolamarras.it/calcolatoria](http://www.nicolamarras.it/calcolatoria).



***Esposizione minima di strumenti di calcolo e navigazione***





***I ragazzi possono provare gli strumenti***



***La comprensione dei nomogrammi introduce con facilità al regolo***





**Conferenza multimediale**

### Scheda - Quintino Sella

Nonostante il primo strumento di calcolo analogico sia stato costruito proprio in Italia da Galileo Galilei, il regolo calcolatore rimase a lungo sconosciuto nel nostro paese e vi fu introdotto solo alla fine dell'800 da Quintino Sella, uno studioso ancora oggi apprezzatissimo all'estero e da noi quasi dimenticato.

Scienziato rigoroso, politico accorto, intellettuale raffinato, sportivo appassionato, industriale di successo. Fu grazie a queste poliedriche qualità di Quintino Sella, per tre volte Ministro delle Finanze, che il neonato Regno d'Italia riuscì a raggiungere il pareggio del bilancio acquisendo credibilità nei consessi internazionali.

Prima di dedicarsi alla politica Sella fu docente di geometria, poi professore di matematica e di mineralogia. Fra il 1854 e il 1861 si concentrò nello studio della cristallografia e per questi suoi lavori gli fu dedicato un minerale: la Sellaite.

Appassionato alpinista fu a capo della prima spedizione che raggiunse la vetta del Monviso, a quota 3.841, e promosse la costituzione del Club Alpino Italiano.

La sua opera *“Teorica e pratica del regolo calcolatore”*, del 1859, diede un contributo essenziale all'introduzione di questo strumento nel nostro paese. Considerato un modello didattico il volume ebbe vasta diffusione in Italia ed all'estero.

Sella, membro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione dal 1859, promosse importanti iniziative scientifiche e culturali, volte ad indirizzare la scuola e la ricerca scientifica del paese verso una prospettiva europea.

Considerava la scienza un veicolo di comunicazione fra i popoli da porre fuori dall'ingerenza della politica e durante un discorso alla Camera sostenne:

*“Bisogna pigliare i giovani fino dalla infanzia, avviarli alle scuole secondarie, e poi dare a costoro i più alti uffici che si possano affidare all'umanità, come la direzione delle coscienze e l'educazione della gioventù. Dunque io dico fuori i lumi! Questo deve essere il nostro intento, né solo a Roma ma in tutto il Paese.”*

Un programma valido ancora oggi.

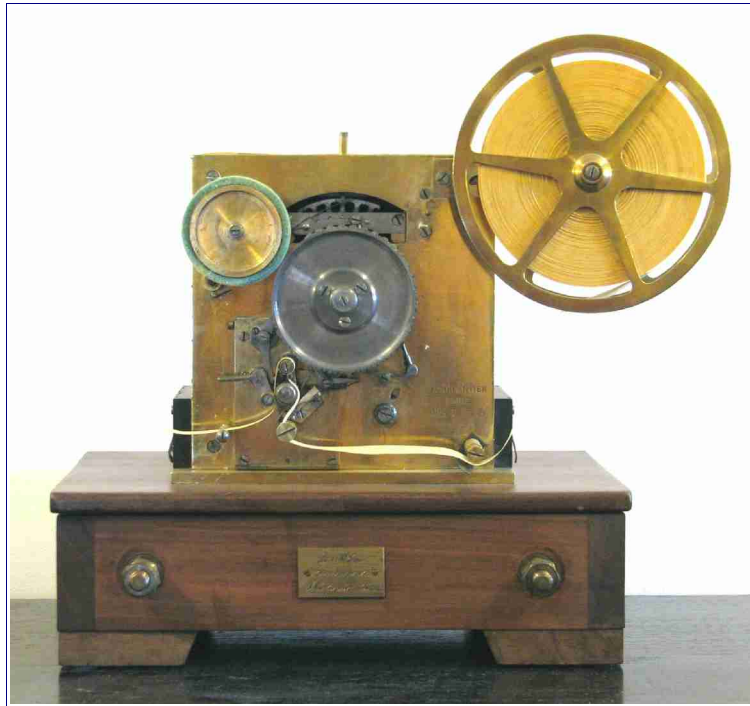


**Quintino Sella: la sua scrivania è oggi utilizzata dal Ministro dell'Economia**

### ***"What hath God wrought"\****

con queste parole, uguali alle prime inviate 155 anni prima da Samuel Morse, si concluse nel luglio 1999 l'ultima trasmissione telegrafica commerciale: era terminata un'era che aveva rivoluzionato il mondo permettendo le comunicazioni istantanee. Per completare la mia carrellata sulle antiche tecnologie propongo anche una stazione telegrafica funzionante e la prima telescrivente, il Multiplex Baudot del 1874, insieme a una raccolta di telefoni, macchine da scrivere, radio e quant'altro occorre per ricreare un ufficio d'epoca.

Telegrafo e telefono permisero la globalizzazione dei mercati e già nel 1894 le operazioni fra le borse di Milano e Parigi si effettuavano con un ritardo di soli 20 secondi: il "tempo reale" non è un'invenzione moderna e il vecchio tasto telegrafico del *Far West* equipaggiò le missioni spaziali fino al 1975.



***Il Multiplex del primo collegamento Italia-Francia***

Il Multiplex, inventato da Emile Baudot nel 1874, non utilizza il codice Morse ma il primo codice digitale, a 5 bit, impiegato per un secolo nelle telescriventi ed evolutosi nell'attuale codifica ASCII presente in tutti i computer. Il termine "baud", coniato da Baudot, indica ancora il numero di informazioni/sec trasmesse sui canali digitali, i modem di oggi per esempio lavorano a 8.000 baud, ma attenzione a non confondere: in un segnale puramente digitale abbiamo un bit per ogni baud però, grazie alla modulazione di frequenza, è possibile caricare più di un bit in ogni baud per cui le velocità in bit/secondo (bps) sono superiori. Il modem che riceve a 56Kbps ha quindi 7 bit per baud (in effetti sono 8: uno serve ad altri scopi). E' il concetto di banda larga, che sembra molto moderno, ma questo principio viene applicato dalla fine dell'800 e il codice originale di Baudot resta sempre attuale.

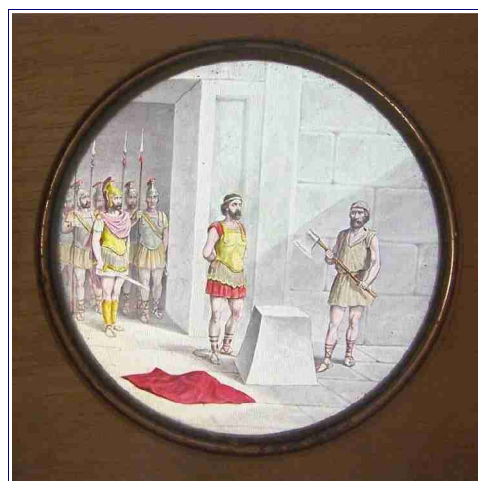
Questo apparecchio è una pietra miliare della comunicazioni, impiegato per il primo collegamento internazionale italiano del 1877 e nelle operazioni fra le borse di Milano e Parigi. Scriveva i messaggi su nastro (molti ricorderanno le strisce di carta incollate sui telegrammi) alla velocità di 2.000 parole/ora senza incepparsi neanche con la frase *"Ma la volpe col suo balzo ha raggiunto il quieto Fido"*, il punto debole di queste macchine (leggendola con attenzione ne capirete il motivo). Di Multiplex ne sono rimasti pochi oltre al mio: uno si trova allo Science Museum di Londra e un altro al Museo delle Poste e Telecomunicazioni di Roma, da anni chiuso nonostante le sue collezioni siano uniche al mondo. Baudot, oggi poco ricordato, ricevette innumerevoli onorificenze per la sua scoperta, fra le quali la Legion d'Onore, e in Italia fu fatto Cavaliere della Corona e dell'Ordine dei Santi Maurizio e Lazzaro.

\* *"What hath God wrought"*, Bibbia (Numeri, 23:23), significa *"Questa è opera di Dio"*: Morse era molto religioso e vedeva le meraviglie della scienza come miracoli del Signore.



***L'emozione di una vita: la prima connessione globale!  
(pubblicità inglese per il combinatore automatico, 1923)***

Anche se non attinente al calcolo mi appassiona la storia delle comunicazioni: oggi passiamo molto tempo davanti alla TV ma l'intrattenimento visivo esisteva già nell'800 e, grazie alla mia piccola collezione di lanterne magiche (un'invenzione in commercio dal 1663), talvolta presento un "XIX° secolo multimedia show" proiettando storie dipinte a mano su lastre di vetro. ***Was there life before TV?***



***Lanterna magica di fine '800 e diapositiva delle avventure di Damone e Pizia***

## Scheda - Consigli per gli acquisti

Dopo aver letto tutte le istruzioni, e magari visitato una mia mostra, volete esercitarvi da soli coi vecchi sistemi di calcolo? Procurarsi l'indispensabile non è costoso e su eBay si trova tutto. Gli affari migliori si fanno negli USA ma assicuratevi che il venditore spedisca in Italia verificando il costo del corriere; acquisti inferiori ai 50 dollari (inclusa la spedizione) normalmente non sono soggetti a dogana.

Ma cosa comprare? Per iniziare occorrono un addiator, una pascalina ed un regolo. Calcolatrici tipo "Odhner" come Brunsviga, Triumph, Thales ecc, sono molto complicate e spesso non funzionano.

L'addiator è facilissimo da usare, si trova principalmente su eBay Germania ed Inghilterra per pochi euro, ma acquistate solo esemplari in ottime condizioni e completi del necessario stilo specifico.



***Addiator e Sterling Dial-A-Matic, entrambi col loro pennino***

Con le pascaline la scelta è obbligata: l'economica Sterling o il più completo Addometer, controllando che quest'ultimo sia in decimale. Il Lightning (pag. 23) è uno splendido oggetto, perfetto su qualsiasi scrivania, ma se volete utilizzarlo anche per le sottrazioni dovrete trovare il raro modello specifico.



***Pratico Addometer in sistema decimale***



***Lightning, più raro il modello per eseguire rapidamente le sottrazioni***

Ricordate che l'Addometer deve sempre avere il suo stilo, negli altri modelli è quasi sempre assente ma in questi si può ricostruire temperando un bastoncino di legno, diametro 5 mm per lo Sterling, 7-8 mm per il Lightning. Verranno uguali all'originale.

Un'ultima nota sui calcolatori: se volete provare le antiche tastiere una buona soluzione è il Torpedo, con numerazione dimezzata. Tutta l'emozione della contabilità d'antan in una macchina che, in linea di massima, funziona sempre o si può riparare senza troppi problemi.

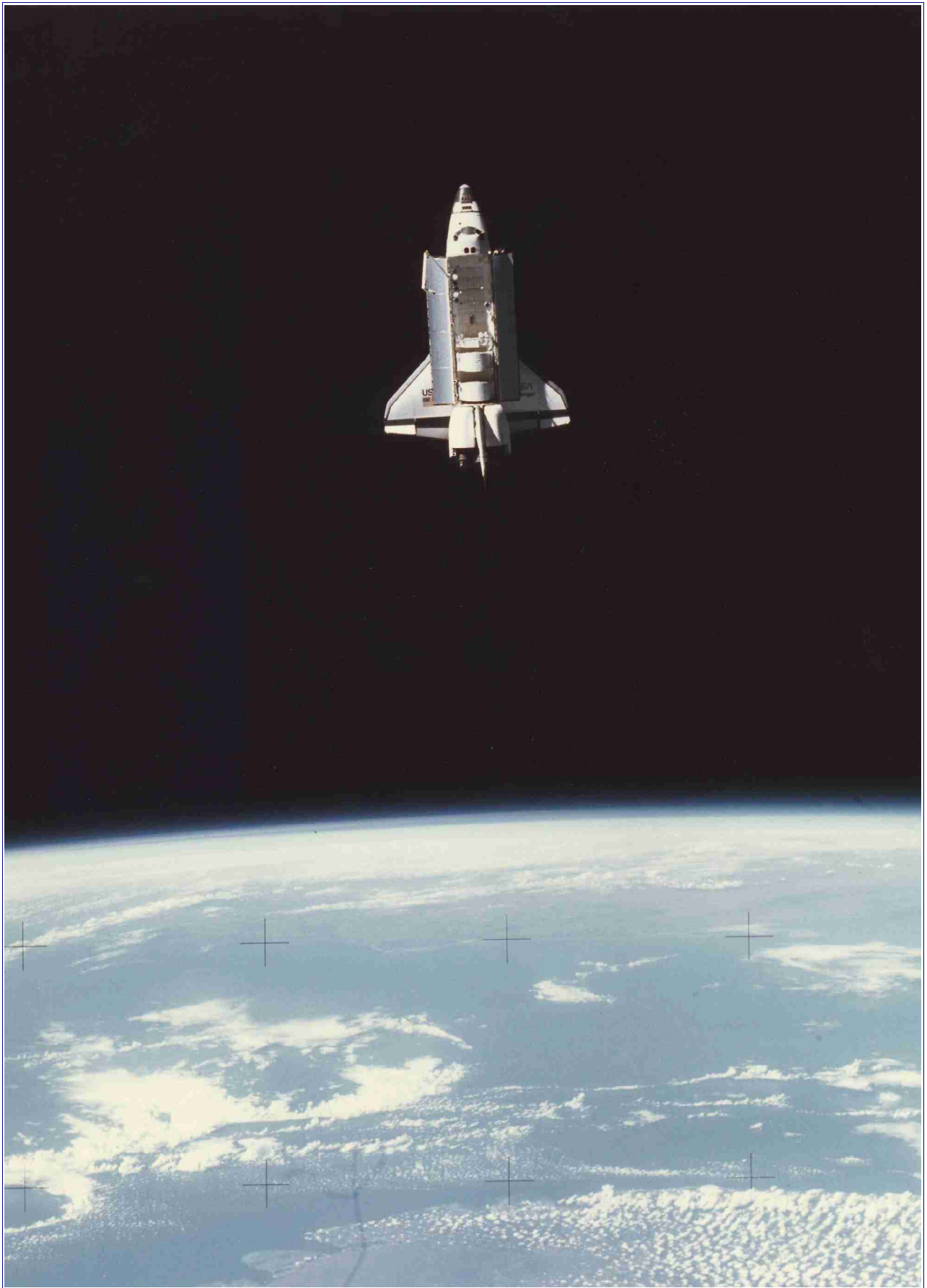


### ***Calcolatrice Torpedo e orologio da pilota Casio "Edifice"***

Di regoli ne sono rimasti tanti, spesso ancora nuovi. Scegliete un modello standard (i tascabili sono difficili da leggere) ed evitate i mostri a 34 scale che finirebbero subito in un cassetto. Per chi vuole provare gli orologi da pilota la scelta è vastissima e per tutte le tasche. Che siano grandi però, altrimenti è difficile usarli: il Casio Edifice, per esempio, è ottimo per imparare spendendo molto poco. Non dimentichiamo infine la Consul Monkey, inventata all'inizio del secolo scorso per insegnare le tabelline ai bambini. Gli originali sono rari e costosi ma il divertimento è assicurato con le riproduzioni.

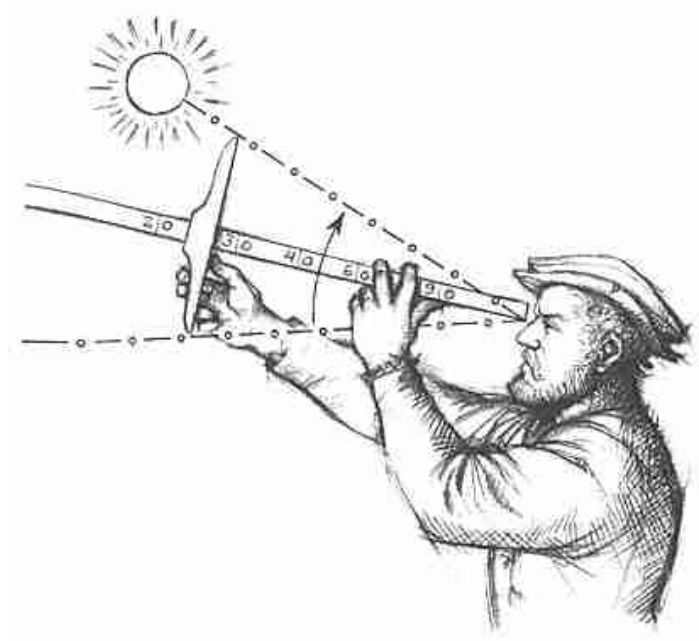


### ***La divertente Consul Monkey***



**Pochi sanno che in questa era tecnologica le navette spaziali utilizzano ancora la navigazione astronomica, come si usava ai tempi di Colombo.**





## Breve storia della navigazione

## L'avventura della posizione

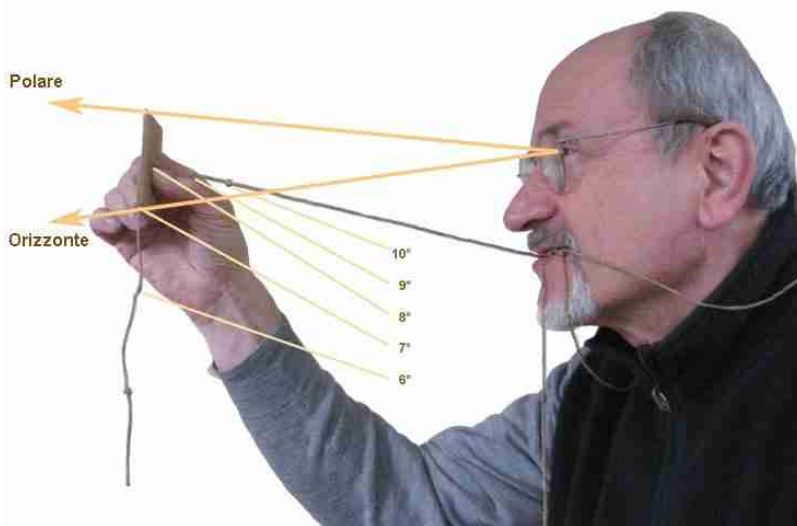
Il 21 luglio 2009 la navetta *Endeavour* rientrava dalla sua 23<sup>a</sup> missione nello spazio. A bordo c'era un astrolabio, strumento inventato da Ipparco nel 200 a.C. e sempre attuale. Non dimentichiamo che il sestante veniva ancora usato a bordo del Jumbo Jet e che sull'Apollo 11 si navigava verso la luna misurando l'altezza delle stelle, non diversamente da James Cook sulla nave *Endeavour*\*.

Dall'avvento del GPS tutto questo sembrerebbe essere ormai alle nostre spalle, ma proprio i mezzi più tecnologici continuano ad utilizzare i sistemi tradizionali. Le navette spaziali hanno orbite più alte di quelle dei satelliti GPS e non ricevono il segnale, rivolto verso la terra: per loro si ricorre ancora alla navigazione astronomica e, pur disponendo di sestanti automatizzati che rilevano la posizione in pochi secondi, il principio rimane lo stesso usato da Cristoforo Colombo.

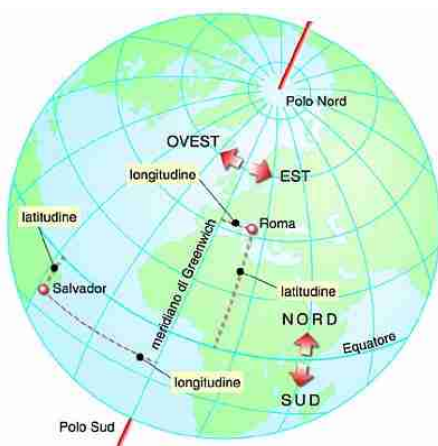
L'antica arte di navigare non è ancora perduta ed è importante per la storia del calcolo e lo sviluppo degli strumenti di misura: i primi computer servivano proprio per calcolare le tavole logaritmiche e le effemeridi nautiche, indispensabili per le osservazioni degli astri. Vediamone brevemente la storia.

Gli antichi marinai navigavano sempre sottocosta, aiutandosi spesso con lo scandaglio: *"Quando trovate 11 braccia siete ad un giorno da Alessandria"* scriveva Erodoto, ma per avventurarsi in mare aperto era necessario osservare il Sole. La direzione da cui sorgeva era il riferimento principale ed ancora oggi ci si "orienta" per ritrovare la strada, mentre i nomi Asia ed Europa derivano dalle denominazioni fenicie dell'Est (Asu) e dell'Ovest (Ereb). Di notte ci si affidava alle stelle: per raggiungere un porto basta navigare sopra il suo parallelo e si otteneva la latitudine misurando col braccio teso l'altezza della Polare. I Romani chiamavano le stelle dell'Orsa Minore "Septem Triones" e da qui viene la parola "Settentrione" per indicare il Nord.

In seguito gli Arabi inventarono il Kamal, un rettangolo di legno dal quale pendeva una cordicella con dei nodi, ciascuno corrispondente alla latitudine di un porto. Il capitano prendeva fra i denti il nodo relativo alla sua destinazione, allineando il Kamal con l'orizzonte: se la Polare si trovava più in alto bisognava correggere la rotta verso Nord, se al di sotto verso Sud.



**Il funzionamento del Kamal (© J.M. Kalouguine)**



Come tutti sanno la latitudine di un luogo è la distanza angolare dall'equatore, facilmente determinabile osservando l'ombra proiettata a terra da uno stilo; la longitudine è invece la distanza angolare da un meridiano convenzionale detto "primo meridiano", dal 1884 quello di Greenwich, ed è molto difficile da misurare.

Ipparco risolse il problema nel 200 a.C. con calcoli astronomici, ma bisognerà attendere duemila anni per poterla calcolare sul mare. Ipparco inventò inoltre l'astrolabio, divise i circoli massimi della terra in 360 gradi e determinò la posizione di tutte le stelle. Sfericità e dimensioni della terra erano già note ai Greci sin dall'epoca classica (vedere a pagina 58), assai prima dei tempi di Colombo, e la navigazione era un'arte basata sull'interpretazione dell'ambiente e sulla sensibilità personale. Nondimeno già nel 2000 a.C. tutto il mondo era esplorato ed abitato.

\* L'*Endeavour* fu l'ammiraglia di Cook durante la circumnavigazione del 1768-71, nel corso della quale vennero cartografate la Nuova Zelanda e la costa est dell'Australia. Per ricordarla vennero battezzati col suo nome il modulo dell'Apollo 15 e uno Shuttle. Il viaggio attorno al mondo era stato estremamente difficile ma Cook era un uomo risoluto, sue le parole *"Ho l'ambizione di andare non solo più in là di dove nessuno sia mai giunto, ma tanto in là sia mai possibile giungere"*, e chiamerà proprio *Resolution* la nave utilizzata nei successivi viaggi.

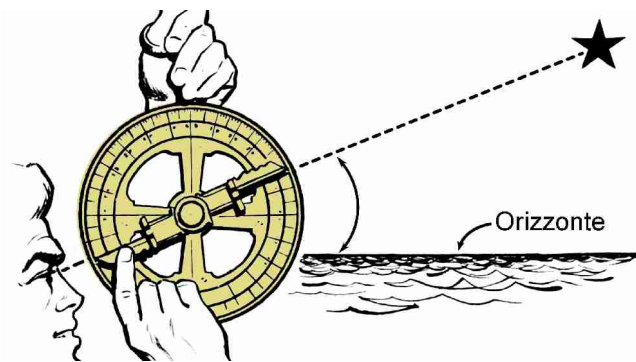
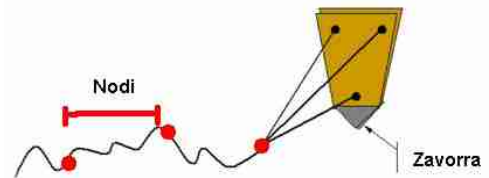


Nel secolo XIII° si diffuse in Europa l'uso della bussola cinese, che impiegò diversi decenni per affermarsi: la si credeva animata dalla magia ed a quei tempi i marinai utilizzavano solo strumenti facilmente comprensibili. Nel 1400 gli Italiani introdussero la rosa dei venti, prima graduata in rombi o quarte ed oggi in 360°.

Si era notato che l'ago non puntava esattamente il Nord, ma si pensava che l'angolo così formato fosse immutabile. Colombo vide invece che, spostandosi verso Ponente, diminuiva fino a zero per poi aumentare in senso opposto. Credette di aver trovato un sistema per calcolare la longitudine ma in realtà aveva scoperto la declinazione magnetica, differenza fra la direzione del Nord geografico e quella del Nord magnetico, che varia annualmente da luogo a luogo.

Le antiche tecniche di navigazione cambiarono poco nel Medio Evo e, anche se la diffusione della bussola permise di mantenere meglio la rotta, il punto nave si effettuava sempre stimando direzione e velocità. Le osservazioni erano molto imprecise ed esistevano diversi grafici, simili ai moderni regoli aeronautici, che aiutavano a tener conto del cammino percorso (pag. 96).

Per conoscere la velocità si lanciava in mare una tavoletta, legata a una corda provvista di nodi a distanze regolari, contando poi i nodi che passavano nella mano in un dato tempo. Questo sistema fu sostituito nell'800 dai solcometri ad elica ma la velocità in mare si esprime ancora in nodi (1 nodo = 1.853 metri/h).



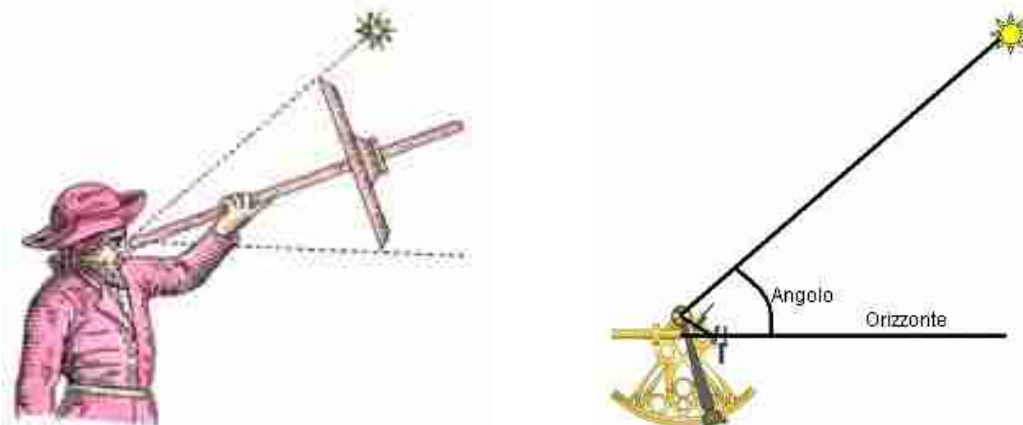
Verso il 1300 arrivò dal mondo islamico l'astrolabio, derivato da un'invenzione di Ipparco. È un vero computer analogico che permette di determinare la posizione con le stelle, ma era difficile da usare a bordo e i marinai ne preferivano una versione semplificata, utile per trovare la latitudine con osservazioni di sole.

Gli astrolabi forniscono soluzioni ragionevolmente approssimate e sono ancora in uso fra gli astronomi: basta comprare un semplice modello in cartoncino per rendersi conto delle sue potenzialità.



**Astrolabio stellare e modello semplificato per osservazioni di sole**

Con l'inizio delle navigazioni oceaniche apparvero l'Almanacco Nautico, col quale è possibile determinare la latitudine misurando l'altezza meridiana del sole, ed il quadrante e la balestriglia per effettuare le osservazioni. Nel 1595 Davis costruì il backstaff, che evitava di guardare direttamente l'astro, ma gli strumenti dell'epoca erano tutti poco affidabili e la ricerca di precisione e praticità portò Hadley, nel 1731, a sfruttare un'idea di Newton inventando l'ottante a specchi con una scala di 1/8 di circonferenza, trasformatosi pochi anni dopo nel moderno sestante.



### ***Balestriglia medioevale e moderno sestante***

L'ottante rivoluzionò le misurazioni, Lacaille battezzò una costellazione in suo onore, ma per trovare l'ora esatta e determinare la longitudine c'era solo il metodo delle distanze lunari, soggetto a notevoli errori. Il problema era così importante che il Governo Inglese istituì un premio di ben 20.000 sterline per chi l'avesse risolto. Il premio fu vinto nel 1776 da Harrison con un precisissimo cronometro che testato da James Cook fece esclamare al celebre capitano: *"Ormai la navigazione è diventata semplicissima!"*. Con un cronometro regolato sul tempo del primo meridiano si può, osservando il sole a mezzogiorno, trovare l'ora locale e risalire con discreta approssimazione alla longitudine.

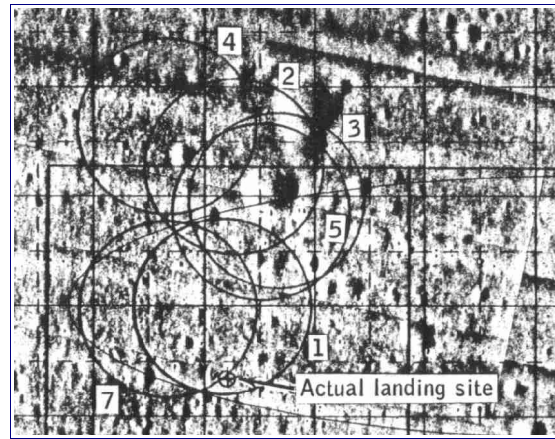
Nel 1837 il capitano Sumner, sospinto dalla tempesta in una zona pericolosa, segnò sulla carta il risultato di tre frettolose osservazioni di sole ed unendole con una retta intuì che la nave doveva trovarsi in un punto qualsiasi della stessa. Pubblicò le sue riflessioni e nel 1875 l'ammiraglio Marcq de St.Hilaire perfezionò questo metodo, che permette di trovare rapidamente l'esatta latitudine e longitudine con due sole misure di altezza e di tempo di un astro qualsiasi.

Nasceva la navigazione astronomica moderna, così precisa da essere utilizzata anche sugli aerei e nei voli spaziali. I calcoli da eseguire sono però estremamente complicati e l'errore massimo accettabile è dello 0,02%. Tanta precisione è superiore alle possibilità dei regoli ed i naviganti usavano le tavole logaritmiche: prima delle calcolatrici e del GPS la navigazione era un lavoro da matematici, svolto dagli Ufficiali di Rotta. Sugli aerei però si adoperavano delle tavole ridotte di uso più semplice.



### ***Due epoche stessi gesti: osservazioni col sestante a bordo di un veliero e di un DC8***

Alla fine dell'800 Guglielmo Marconi aveva inventato la radio e già nel 1901 John Stone-Stone brevettò il primo sistema di navigazione radioassistita, subito migliorato da Ettore Bellini e Alessandro Tosi.



### ***Il sestante delle missioni Apollo e la posizione astronomica per l'atterraggio sulla luna***

Nella prima metà del '900 fu quindi installata una rete di stazioni che emettevano segnali direzionali rilevabili con radiogoniometri. Questo sistema permette di navigare come si fosse in vista di normali fari ma i segnali radio sono disturbati dalle condizioni atmosferiche e, per migliorare la sicurezza, venne fatto lo sforzo tecnologico forse più grande della storia.

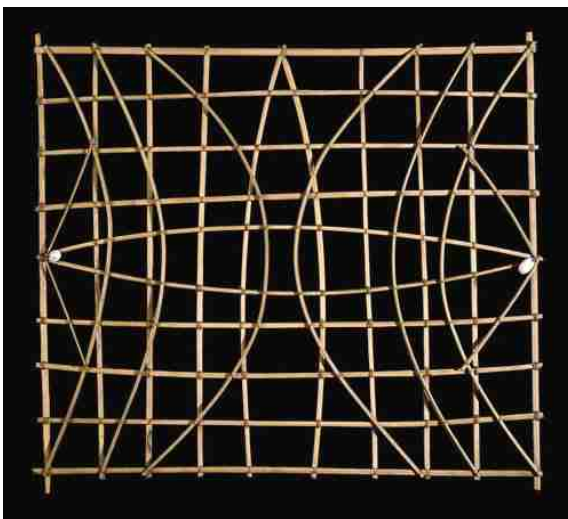
Nel 1959 gli Stati Uniti misero in orbita i 6 satelliti del sistema Transit, in grado di fornire il punto ogni 90 minuti. Ancora poco pratico per la navigazione aerea fu sostituito nel 1991 dal NAVSTAR-GPS, 24 satelliti e diverse stazioni a terra, che calcola il tempo impiegato da un segnale a percorrere la distanza satellite-ricevitore determinando continuamente posizione, altitudine, rotta e velocità con uno scarto minimo. L'antico sogno di tutti i naviganti si era finalmente avverato.

Il sistema è di una complessità estrema, basti pensare che il ricevitore della nostra auto, per trovare l'indirizzo cercato, deve considerare anche gli errori relativistici e la curvatura dello spazio-tempo. Abbiamo un gioiello tecnologico nel cruscotto ma talvolta ci comportiamo come la caricatura del selvaggio con la sveglia al collo: sappiamo leggerlo senza avere idea di come funzioni.

L'utilissimo GPS è però fuori dal controllo degli utenti: può guastarsi, essere disattivato dal gestore o fornire dati falsati, anche volutamente. Finito il tempo in cui si diffidava della bussola quale strumento misterioso oggi si leggono acriticamente i dati del display. Questa tecnologia non si è affiancata alle vecchie conoscenze ma le ha cancellate, ormai pochi sanno "orientarsi" senza elettronica, e qualora il servizio venisse meno si navigherebbe con minor sicurezza di una nave fenicia.

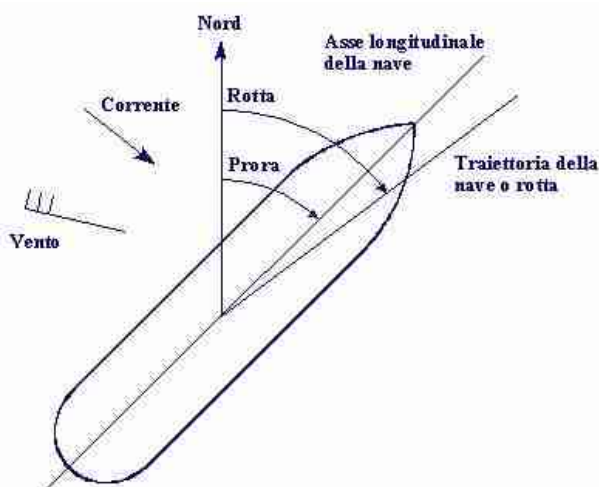
La navigazione astronomica insegnava ad essere autosufficienti ed a compenetrarsi col mondo, in contatto con le bellezze del firmamento. Oggi non è più così, come già diceva agli inizi del '900 l'astronomo Flammarion:

*"La mente si smarrisce quando realizzo che la maggior parte degli uomini non ha mai alzato lo sguardo al cielo"*



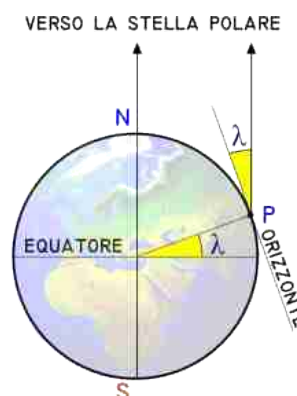
***Schema polinesiano per la navigazione astronomica e rete GPS***

## Scheda - Navigazione essenziale



Al navigante occorrono due strumenti: la bussola per conoscere la direzione ed il solcometro per la velocità. La bussola consente di determinare la prora, ossia l'angolo fra la direzione del Nord e della prora. Tuttavia vento, correnti e moto ondoso tendono a deviare la nave: questa differenza si chiama scarroccio se causata dal vento e deriva se causata dalla corrente. L'angolo fra la effettiva direzione della nave e quella del Nord prende il nome di rotta, che viene rappresentata sulla carta nautica con una linea retta. Conoscendo grazie al solcometro la velocità è facile calcolare lo spazio percorso dal punto di partenza e determinare così il punto nave stimato. Dopo poco tempo però questa stima diventa imprecisa e bisogna correggerla con una osservazione astronomica.

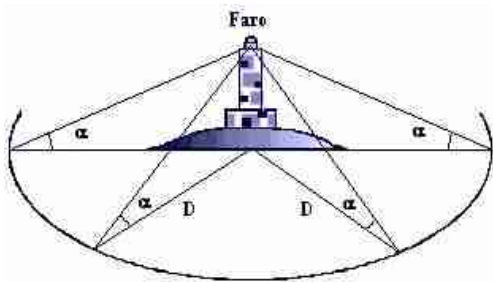
I primi marinai utilizzavano la stella polare, la sua altezza è infatti pari alla latitudine  $\lambda$  del luogo di osservazione (punto P). In realtà essa si trova a circa 44' di distanza dal vero Polo Nord celeste e descrive quindi un piccolo cerchio di circa  $1.5^\circ$  di diametro. Dato che 1' di grado corrisponde ad un miglio sulla carta l'errore non può superare le 88 miglia e riusciremo ad arrivare in prossimità della nostra meta. Potendo conoscere la latitudine possiamo fare come Colombo che, partendo dalle Canarie (ca.  $28^\circ$  Lat. N) per Santo Domingo (ca.  $18^\circ$  Lat. N), si limitava a fare rotta verso Sud sino ad incrociare il  $18^\circ$  parallelo e quindi proseguiva per Ovest mantenendosi sopra di questo fino a destinazione. Un metodo che allunga il percorso ma dà la certezza di arrivare in porto, non poco a quei tempi. Oggi con l'Almanacco Nautico si possono effettuare le correzioni necessarie per aumentare la precisione ma la Polare, poco luminosa, viene utilizzata solo in mancanza di alternative.



La latitudine si può determinare anche con l'osservazione meridiana del sole. Sappiamo infatti che sorge ad Est e tramonta ad Ovest: a metà della sua corsa, il mezzogiorno, sarà quindi esattamente a Sud (nel nostro emisfero) ed alla massima altezza della giornata. E' come dire che sta passando sopra il meridiano che si trova sotto i nostri piedi e l'altezza massima che raggiunge ha un valore diverso a seconda della nostra latitudine. L'altezza del sole a mezzogiorno è quindi una misura diretta della latitudine. Tutto qui? No, in realtà questo vale solo per due giorni particolari dell'anno: gli equinozi. In tutti gli altri giorni l'asse terrestre non è perpendicolare ai raggi del sole ma inclinato di un certo angolo: si dice allora che il sole ha una declinazione positiva (Nord) o negativa (Sud). I dati si correggono con l'Almanacco Nautico ed avremo calcolato la nostra latitudine. Per strano possa sembrare questo sistema è stato utilizzato dall'equipaggio dell'Apollo 13 per ritornare sulla terra: dopo il famoso guasto al sistema elettrico non disponevano del calcolatore per effettuare le complesse osservazioni stellari e tragararono il sole. Un colpo di genio, non a caso la navicella portava il nome del protettore degli esploratori.

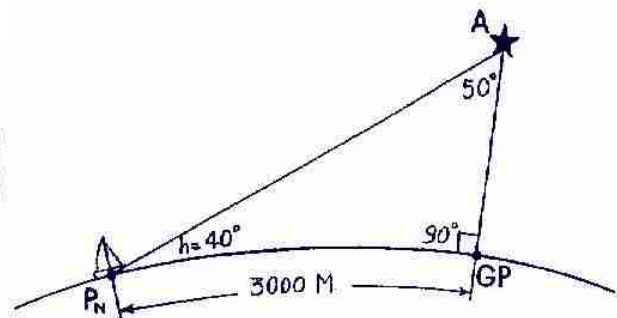
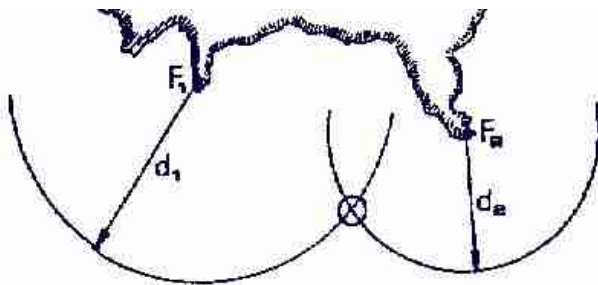
Se, in possesso di un cronometro che misuri esattamente l'ora di Greenwich, identifichiamo il momento preciso in cui il sole passa sul nostro meridiano alla sua massima altezza possiamo calcolare anche la longitudine. La differenza oraria fra il mezzogiorno di Greenwich ed il mezzogiorno osservato da noi dà infatti la longitudine espressa in tempo, convertibile in gradi essendo  $1^\circ$  uguale a 4 minuti. L'operazione è semplice: il sole, al suo culmine, sembra fermarsi per qualche minuto ed il suo movimento è impercettibile. Ne misureremo quindi l'altezza un po' prima di mezzogiorno, quando sta ancora salendo, annotando l'ora. Mantenendo il sestante sull'altezza segnata aspetteremo che l'astro, scendendo, la raggiunga di nuovo sempre annotando l'ora. La media tra i due orari sarà l'istante esatto della massima altezza. La cosa è complicata da alcune anomalie dell'orbita terrestre per cui sul meridiano dei Greenwich il sole non passa sempre a mezzogiorno esatto e bisogna fare diverse correzioni con il nostro Almanacco Nautico. Non si ottengono risultati troppo affidabili ma si è dovuto attendere il 1875 per disporre del precisissimo metodo delle rette di altezza.

## Scheda - Le rette di altezza



La teoria delle rette, o cerchi, di altezza non si può approfondire senza introdurre nozioni di astronomia e geometria sferica che esulano da questo tema. In estrema sintesi: trovandoci in prossimità di un faro per osservarne la sommità dovremo alzare lo sguardo di un certo angolo "α", allontanandoci dovremo abbassarlo ed avvicinandoci sollevarlo. Tutti gli osservatori che si trovano alla medesima distanza dovranno sollevare lo sguardo dello stesso angolo "α": sono infatti su una circonferenza avente per centro la base del faro.

Ripetiamo l'operazione con un secondo faro e ci troveremo nell'incrocio delle due circonferenze: utilizzando gli astri come fari è possibile determinare la posizione anche lontano dalla costa.



Si opera "al contrario", assumendo cioè un punto stimato e calcolando che altezza ed azimut avrebbero alcune stelle qualora ci trovassimo realmente in quella posizione. Eseguiamo ora l'osservazione: se i dati saranno diversi saremo proporzionalmente più vicino o più lontano rispetto al punto della loro proiezione sulla terra che abbiamo calcolato, chiamato "GP" ed equivalente alla base del nostro faro. Per poter fare questa differenza dobbiamo conoscere esattamente la posizione degli astri osservati e del punto "GP". Per il sole è sufficiente consultare l'Almanacco Nautico, pubblicato annualmente dal 1767, mentre per le stelle erano necessari laboriosissimi calcoli fino alla nascita, nel 1936, delle tavole precompilate che forniscono la posizione degli astri principali in qualsiasi istante. Le osservazioni delle stelle sono possibili solo in due brevi momenti dell'alba e del tramonto, chiamati crepuscoli nautici, quando sono visibili insieme all'orizzonte. Per il resto della giornata ci accontenteremo della navigazione stimata, eventualmente prendendo una altezza di sole per verifica.

Questo sistema permette di ottenere osservazioni precisissime e molte carte rilevate col sestante nel 1800 sono ancora a bordo delle navi, ma non c'è più il sestante: oggi la navigazione astronomica viene utilizzata solo dalle navette spaziali, che dispongono di sestanti computerizzati in grado di riconoscere e puntare automaticamente le stelle rilevando la posizione in pochi secondi.



```

2021/022/ S TRK/COAS CNTL 2 001/19:56:07
000/00:00:00
S TRK CNTL -Y -Z S TABLE 1 2 3
SELF TEST 1 2 TRK ID 15 43 0
STAR TRK 3 4 Δ MIN 1 1 0
TGT TRK 5* 6* ANG DIF
BREAK TRK 7 8 ERR
TERM / IDLE 9 10 SEL 17 18 19
S TABLE CLR 20

S TRK -Y -Z COAS
REQD ID 11 2 12 2 REQD ID 21 0
TRK ID 2 2 DEG X
S PRES * * Y
ΔANG 0.00 0.00 SIGHT MODE 22
THOLD 13 0 14 0 ACCEPT 23
SHUTTER OP OP CAL MODE 24
MAN OP 15 16 DES 25
STATUS ST PASS ST PASS POS +X 26 -Z 27
ΔBIAS 0.00 0.00
UPDATE 28 29
    
```

**Sestante elettronico "Star Tracker" dello Shuttle Columbia col suo pannello di controllo**



*Il cronometro di Harrison, 1776, ed ottante della stessa epoca*



*Backstaff (© J.M. Kalouguine)*

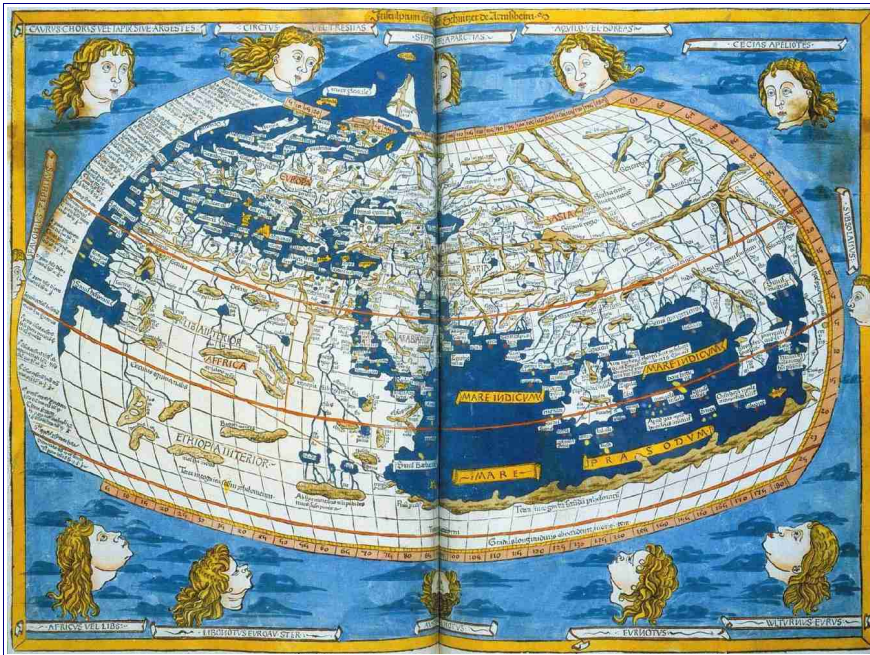


*Sestante marittimo e modello aeronautico, ca. 1975*

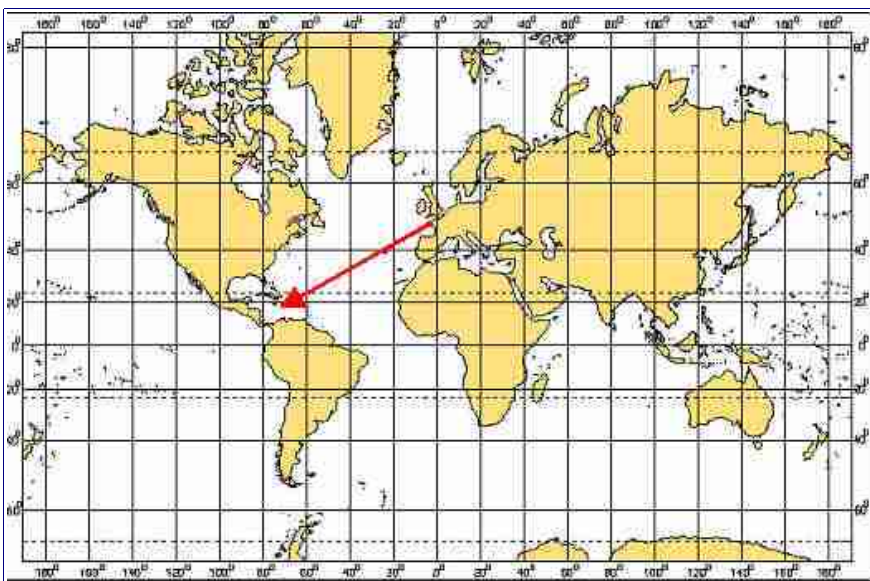


## Scheda - Le carte nautiche

Anticamente si utilizzavano delle raccolte di informazioni nautiche, chiamate Peripli, poi evolutesi nei bellissimi portolani rinascimentali. Le prime carte furono tracciate nel II° secolo d.C. da Tolomeo che, basandosi su empirici rapporti come *"Navigando dieci giorni verso Nord abbiamo raggiunto..."*, riuscì a calcolare le latitudini e le longitudini, sia pure approssimate, di tutto il mondo conosciuto. La sua proiezione conica è tuttora in uso per le mappe terrestri e le carte di ispirazione tolemaica sono state disegnate a lungo, ma la scoperta dell'America e i grandi viaggi di esplorazione portarono a un perfezionamento della cartografia che ruppe definitivamente con la cosmografia medievale. Nel 1569 Mercatore introdusse la proiezione cilindrica, tuttora la più diffusa, che permette di tracciare la rotta con angolo costante rispetto ai meridiani. Da quella data le coste sono state riportate sempre più fedelmente con rilevamenti astronomici e molte carte del 1800 sono così precise da essere sempre in commercio, ancora valide nell'era del GPS.



**Carta del 1400 di derivazione tolemaica**



**Nella proiezione di Mercatore la rotta incrocia i meridiani con angolo costante**

ANTICANCER BLOCKBUSTER? • RISE AND FALL OF THE SLIDE RULE

# SCIENTIFIC AMERICAN

Bringing  
DNA Computers  
to Life

## Quark Soup

PHYSICISTS RE-CREATE  
THE LIQUID STUFF OF  
THE EARLIEST  
UNIVERSE

Stopping  
**Alzheimer's**

Birth of  
**the Amazon**

Future  
**Giant Telescopes**



Un semplice regolo di carta è uno strumento più completo di quanto possa sembrare a prima vista, presentato anche sulla rivista Scientific American.

**D** 1 1.5 2 3  $\pi$  4 5 6 7 8 9 10 **x**

**L** .0 .1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .9 1.0 **lgx**

**S** 5.5 6 7 8 9 10 15 20 30 40 50 60 70 80 90 **sin**

84.5 75 70 65 60 55 50 45 **cos**

---

**Il regolo di carta**

---

**T** 84.5 80 75 70 65 60 55 50 45 **cot**

5.5 6 7 8 9 10 15 20 25 30 35 40 45 **tan**

**K** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1 **x<sup>3</sup>**

**A** 9 1 2 3  $\pi$  4 5 6 7 8 9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1 **x<sup>2</sup>**

▲ Ritagliare ▲

---

**B** 9 1 2 3  $\pi$  4 5 6 7 8 9 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1 **x<sup>2</sup>**

**CI** 1 9 8 7 6 5 4 3  $\pi$  3 2 1.5 1 **1/x**

**C** 1 1.5 2 3  $\pi$  4 5 6 7 8 9 1 **x**

Designed by ChriNaTECH

[www.nicolamarras.it/calcolatoria](http://www.nicolamarras.it/calcolatoria)

Invented in the USA  
by Acme Klein Bottles



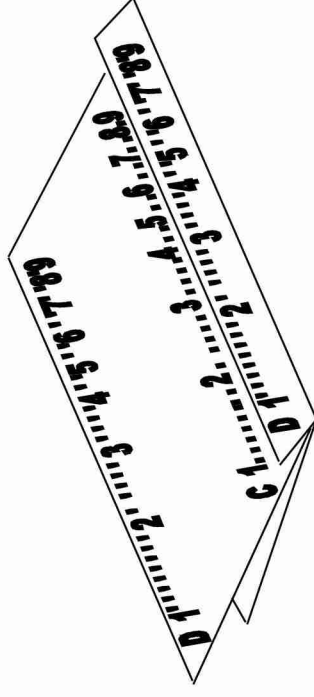


----- piegare lungo la linea -----

## Il regolo di carta

Sembra ridicolo usare un regolo quando abbiamo sempre sottomano la calcolatrice del telefonino, ma nel tempo che gli altri la cercano nel menù noi avremo già trovato la risposta!

Per utilizzarlo ne occorrono due copie: è sufficiente allineare le scale C e D oppure piegare i fogli lungo la linea tratteggiata inserendoli uno dentro l'altro.



### ESEMPI:

#### 2 x 4:

- posizionate l' 1 di sinistra della scala C sopra il 2 della scala D;
- trovate il 4 sulla scala C e leggete il risultato sulla scala D.

#### 4 / 2:

- posizionate il 2 della scala C sopra il 4 della scala D;
- sopra l'1 di sinistra della scala C potrete leggere il risultato sulla scala D.

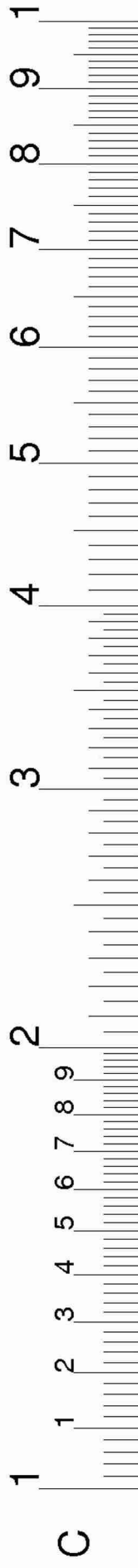
#### 2 x 9:

- posizionate l' 1 di sinistra della scala C sopra il 2 della scala D;
- trovate il 9 sulla scala C e leggete il risultato sulla scala D.

#### 18 / 2:

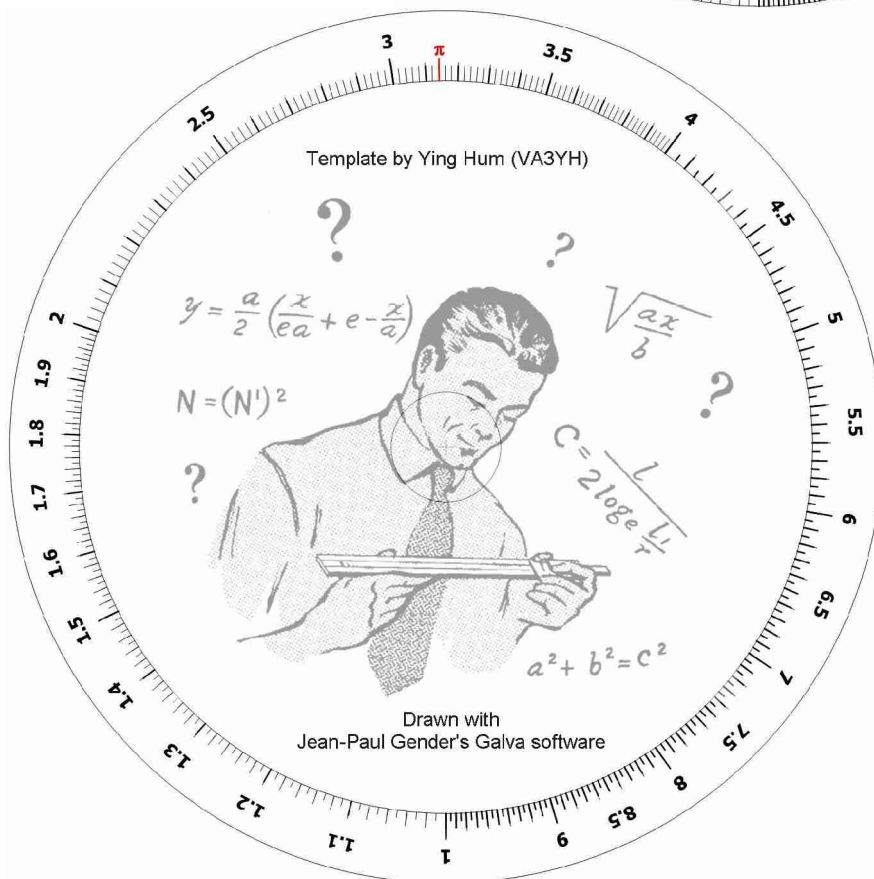
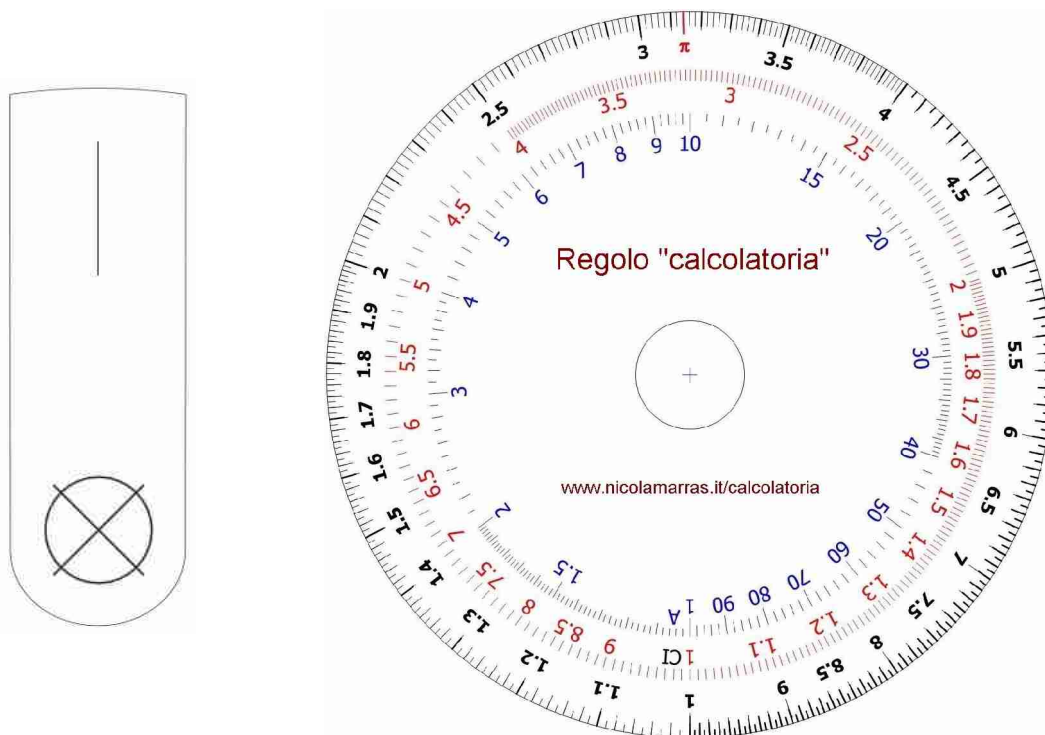
- posizionate il 2 della scala C sopra il 18 della scala D;
- sopra l' 1 di sinistra della scala C potrete leggere il risultato sulla scala D.

**Gli strumenti di calcolo prima dell'era digitale - [www.nicolamarras.it/calcolatoria](http://www.nicolamarras.it/calcolatoria)**

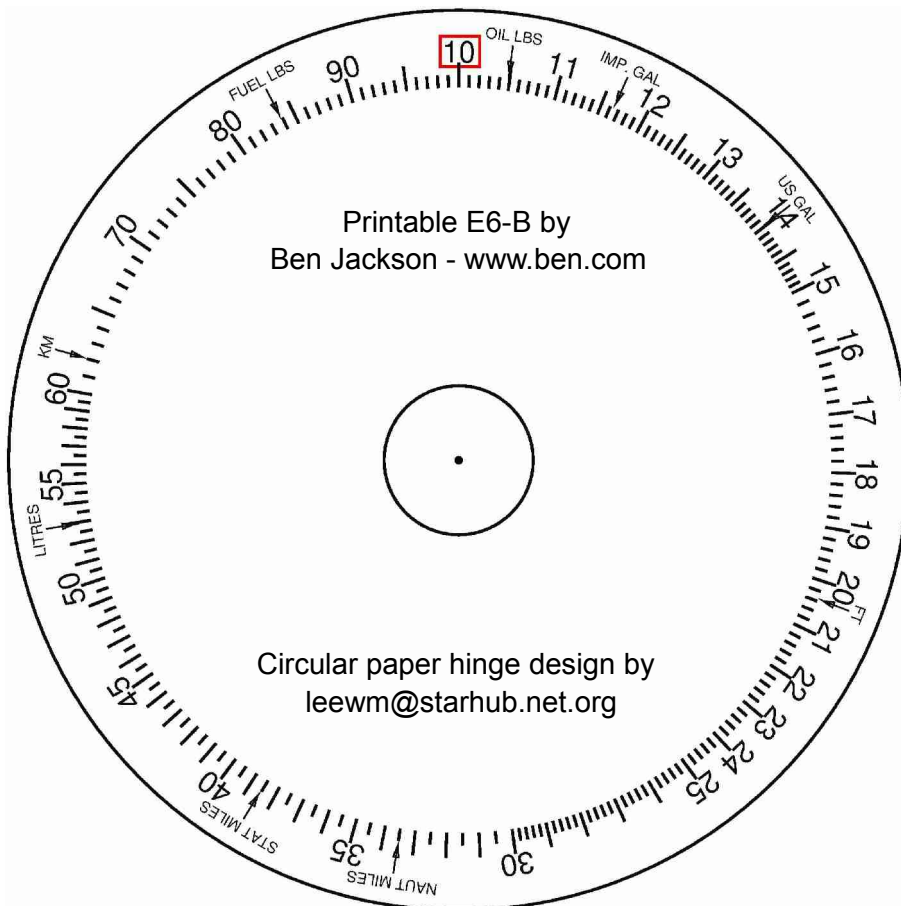
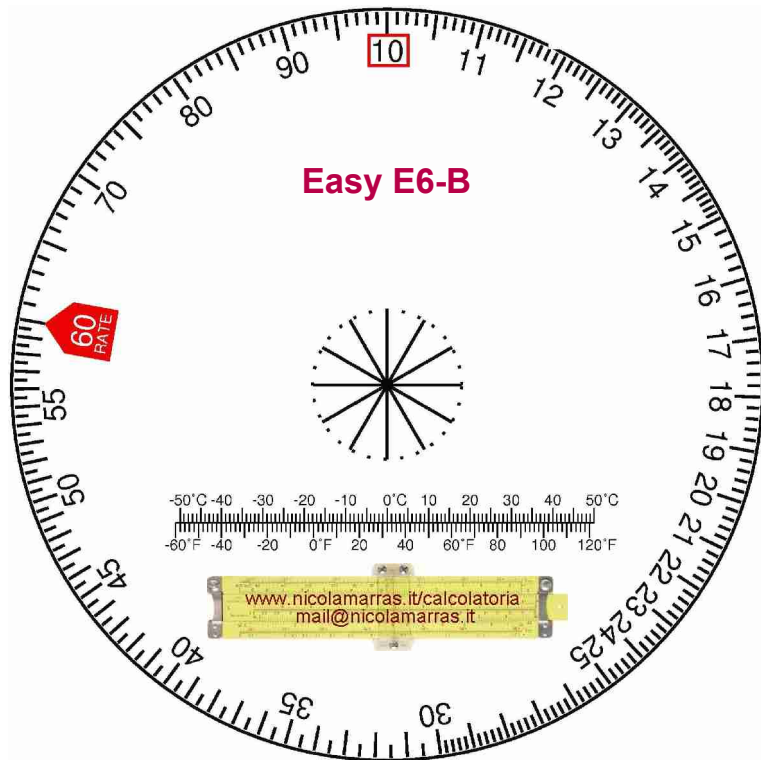


## Il regolo di carta

Nella pagina precedente trovate un regolo semplicissimo: fotocopandolo su due fogli e poggiandoli uno sull'altro si può vedere il principio del suo funzionamento. Chi vuole provare qualcosa di più completo può fotocopiare e ritagliare il template suggerito da *Scientific American*, che incornicia il titolo del capitolo, utilizzando una graffetta come cursore o fare lo stesso con questo in basso, inserendolo poi in una custodia di CD per farlo ruotare. Da una seconda fotocopia su foglio trasparente si può ritagliare il cursore.



Questa è invece una versione ridotta del regolo aeronautico E6-B utile per convertire le unità di misura più importanti. Ritagliate lungo le linee e ripiegate all'interno gli spicchi del foro centrale per permettergli di ruotare. Le istruzioni base sono a pagina 98, complete nel mio sito [www.nicolamarras.it/calcolatoria](http://www.nicolamarras.it/calcolatoria) insieme a svariati disegni per realizzare altri regoli aeronautici, statistici, fotografici e musicali.



# Ringraziamenti

---

Oltre a mia moglie Patrizia, il cui supporto è stato fondamentale, e mia sorella Francesca che ha corretto i calcoli, in tanti mi sono stati di aiuto. Per le immagini e i consigli desidero ringraziare:

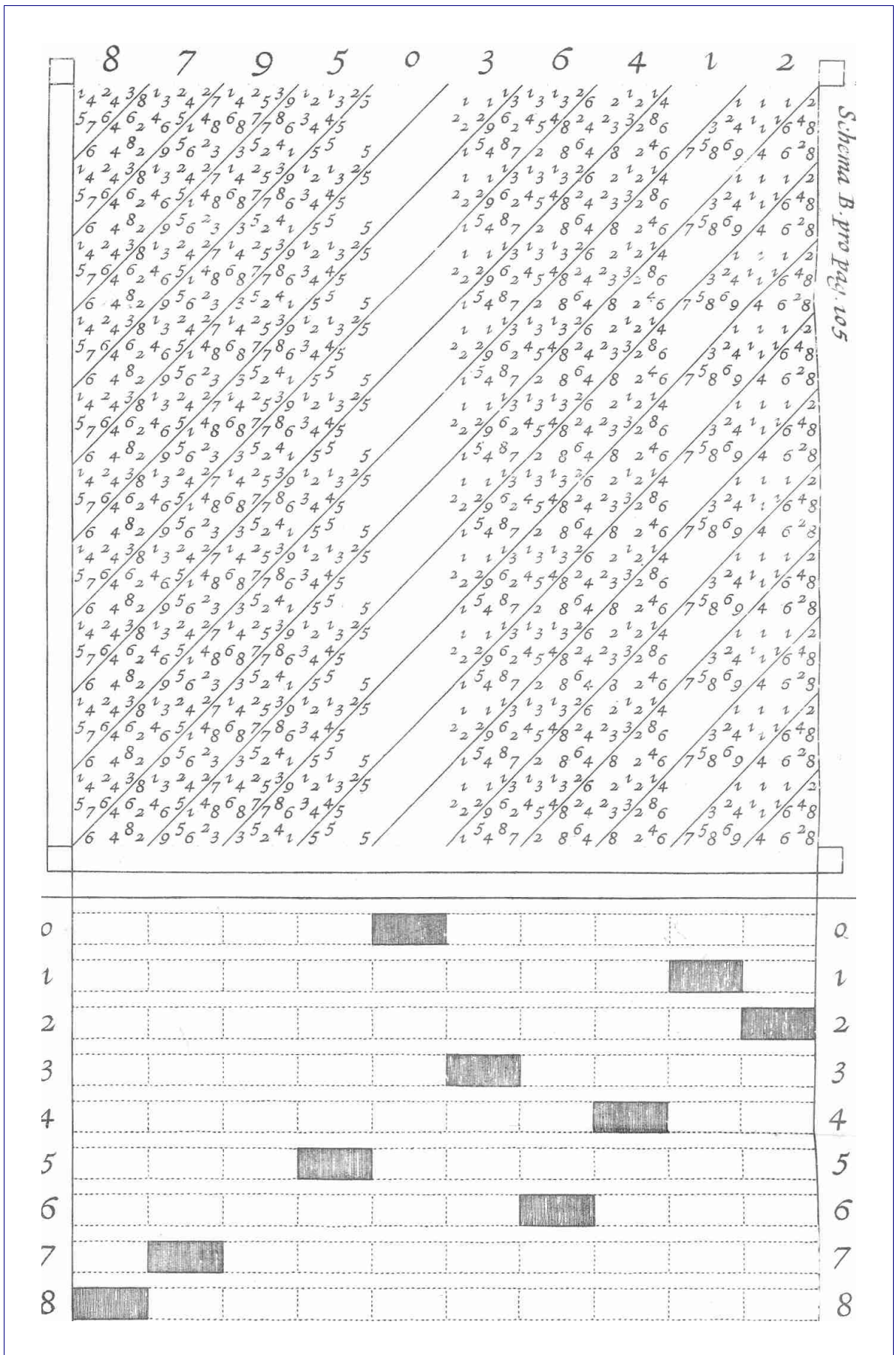
John Wolff di "John Wolff's Web Museum": [home.vicnet.net.au~wolff](http://home.vicnet.net.au~wolff)  
Gonzalo Martin di "Photocalcul": [www.photocalcul.com](http://www.photocalcul.com)  
Mike Konshak dell'International Slide Rule Museum: [sliderulemuseum.com](http://sliderulemuseum.com)  
Jorge Fabregas Zazza di "Reglas de Calculo": [www.reglasdecalculo.com](http://www.reglasdecalculo.com)  
I membri di ARC, foro spagnolo dei regoli calcolatori: [arc.reglasdecalculo.org](http://arc.reglasdecalculo.org)  
Lo staff di Giocomania: [www.giocomania.org](http://www.giocomania.org)  
Lo staff di Matematicamedie: [matematicamedie.blogspot.com](http://matematicamedie.blogspot.com)  
History of Computers: [history-computer.com](http://history-computer.com)  
Reto Ambrosini e Alessandro Margnetti: [web.ticino.com/calcolo](http://web.ticino.com/calcolo)  
Retrocalculators: [retrocalculators.com](http://retrocalculators.com)  
Vintage Calculators Web Museum: [www.vintagecalculators.com](http://www.vintagecalculators.com)  
The Museum of HP Calculators: [www.hpmuseum.org](http://www.hpmuseum.org)  
xnumber: [www.xnumber.com](http://www.xnumber.com)  
Computer History Museum: [www.computerhistory.org](http://www.computerhistory.org)  
Museo Galileo di Firenze: [www.museogalileo.it](http://www.museogalileo.it)  
Paolo Giangrandi e Corrado Bonfanti: [nid.dimi.uniud.it/history/history.html](http://nid.dimi.uniud.it/history/history.html)  
Stephan Weiss: [www.mechrech.info](http://www.mechrech.info)  
James Ollinger: [www.jollinger.com](http://www.jollinger.com)  
Early Office Museum: [www.officemuseum.com](http://www.officemuseum.com)  
Gilai Colletibles: [www.gilai.com](http://www.gilai.com)  
Aldo Cavini Benedetti: [aldoaloz.blogspot.it](http://aldoaloz.blogspot.it)  
Reinhard Atzbach: [www.rechenwerkzeug.de](http://www.rechenwerkzeug.de)  
Alessandro Palladino: [www.john-silver.it](http://www.john-silver.it)  
Ezio Raddi: [ezioraddi.altervista.org](http://ezioraddi.altervista.org)  
David M. Riches: [www.mathsinstruments.me.uk](http://www.mathsinstruments.me.uk)  
François Babilot: [calmeqa.free.fr](http://calmeqa.free.fr)  
Nico Baaijens: [www.novosite.nl](http://www.novosite.nl)  
Jay M. Goldman: [www.jmgoldman.com](http://www.jmgoldman.com)  
Kees Nagtegaal: [www.mechanicalcalculator.com](http://www.mechanicalcalculator.com)  
Jean-Michel Kalouguine: [kaloujm.com](http://kaloujm.com)  
James Ollinger: [www.jollinger.com](http://www.jollinger.com)  
ASA: [www.asa2fly.com](http://www.asa2fly.com)  
The Oughtred Society: [www.oughtred.org](http://www.oughtred.org)  
Casio: [www.casio-europe.com/it](http://www.casio-europe.com/it)  
Andries de Man: [sites.google.com/site/calculatinghistory](http://sites.google.com/site/calculatinghistory)  
Rechnerlexikon: [www.rechnerlexikon.de](http://www.rechnerlexikon.de)  
Rechenmaschinen Illustrated: [www.rechenmaschinen-illustrated.com](http://www.rechenmaschinen-illustrated.com)  
Erez Kaplan: [www.nzeldes.com](http://www.nzeldes.com)  
Slide Rule Universe: [www.sphere.bc.ca](http://www.sphere.bc.ca)  
Rod Lovett: [sliderules.lovett.com](http://sliderules.lovett.com)  
Eric Marcotte: [www.sliderule.ca](http://www.sliderule.ca)  
Christophe Mery: [machinecalculer.free.fr](http://machinecalculer.free.fr)  
Vintage Technology: [www.vintage-technology.info](http://www.vintage-technology.info)  
Clark McCoy: [www.mccoys-kecatalogs.com](http://www.mccoys-kecatalogs.com)  
Daniel Toussaint: [www.linealis.org](http://www.linealis.org)  
Associazione Archivio Storico Olivetti: [www.arcoliv.org](http://www.arcoliv.org)  
Wikipedia: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)  
Mateureka: [www.mateureka.it](http://www.mateureka.it)  
Ugo Mainieri: [www.mainieri.eu](http://www.mainieri.eu)  
Ing. Giovanni Pastore: [www.giovannipastore.it](http://www.giovannipastore.it)  
University of Toronto: [www.utsic.org](http://www.utsic.org)

## Bibliografia

---

- A.A. *Computing Before Computers*. Iowa State University Press, 1990.
- Antinori, Carlo. *La contabilità prima di Pacioli*. Revista Española de Historia de la Contabilidad No.1, 2004.
- Bitto, Diana. *Alla radice degli strumenti di calcolo*. Università di Udine e Mathesis, ?
- Bonfanti, Corrado. *Storia dell'informatica*. UNIUD, 2007-8
- Bagni, Giorgio. *L'arte dell'abbaco e la matematica medievale*. Fondazione Cassamarca, 1995.
- Brini, Daniele. *Elementi di calcolo meccanico*. Edizioni Calderini, 1969.
- Brunetti, Franz. *Le operazioni del compasso geometrico e militare di Galileo Galilei*. U.T.E.T. 1980.
- Cabizza, Gian Nicola. *Il calcolatore di Antikythera*. Rivista Mathesis Anno V - n. 11 - Dicembre 2008.
- Cajori, Florian. *A history of the logarithmic Slide Rule*. Astragal Press, 1994.
- Callet, Francois. *Tables de Logarithmes*. Firmin Didot, 1795.
- Casson, Lionel. *Navi e marinai dell'antichità*. Mursia, 1976.
- de Médine, Pierre. *L'art de naviguer*. Guillame Roville, 1554.
- Di Franco, Francesco. *Manuale di navigazione astronomica semplificata*. Mursia, 1974.
- Di Santo, Michele. *Storia dell'Informatica*. Università del Sannio, 2007.
- Galilei, Galileo. *Le operazioni del compasso geometrico e militare*. Francesco Agnelli MDCCXLL.
- Graziani & Sangoi. *La macchina aritmetica di Blaise Pascal*. Istituto di Filosofia Arturo Massolo, 2005.
- Helfand, Jessica. *Reinventing the Wheel*. Princeton Architectural press, 2002.
- Hopp, Peter M. *Slide Rules - Their History, Models and Makers*. Astragal Press, 1999.
- Ifland, Peter. *Taking the Stars*. Krieger Publishing, 1998.
- Jouenne, Noël. *La règle à Calcul: extinction programmée?* Su "Pour la Science", novembre 2005.
- Kidwell, Peggy Aldrich. *American Adders: Circles and Bands*. Rivista ETCetera n° 31, 1995.
- Konshak, Mike. *A seminar on How to use the slide rule*. [www.sliderulemuseum.com](http://www.sliderulemuseum.com).
- Lalanne, Léon. *Abaque ou compteur universel*. Hachette, 1851.
- Laurencich Minelli, Laura. *Cenni sul calcolo Inca*. Istituto Italo-Latinoamericano, 2003.
- Le Goff, Jean-Pierre. *Petite histoire des instruments des sciences mathématiques*. IUFM & IREM, 2001.
- Lepschy, Antonio. *La "Machina Aritmetica" di Poleni*. Dipartimento "G. Galilei" - Università di Padova, ?
- Linklater, Andro. *Misurare l'America*. Garzanti, 2004.
- Lumpkin, Beatrice. *African and African-American Contribution to Mathematics*. Portland public school, 1987.
- Marchant, Jo. *Decoding the heavens*. Capo Press, 2009.
- Marguin, Jean. *Histoire des instruments et machines à calculer*. Hermann, 1994.
- Martin, Ernst. *The calculating machines*. The Charles Babbage Institute - MIT press, 1992.
- Martin, Gonzalo. *Regles à Calcul pour l'Alcool*. [www.photocalcul.com](http://www.photocalcul.com).
- Martin, Gonzalo. *Carpenter's Slide Rule*. [www.photocalcul.com](http://www.photocalcul.com).
- McLeod, T.H. *A treatise on the slide rule*. George Smith, 1846.
- Morris, Alan. *Slide Rule Accuracy Versus Precision*. [morris.ward@rc.com](mailto:morris.ward@rc.com), 2005.
- Orton, Hoy. *Orton & Sadler's Business calculator*. W.H. Sadler, 1897.
- Pacco, Raul. *La meccanizzazione dei servizi aziendali*. Istituto di cultura commerciale di Trieste, ?
- Palmer, Aaron. *Palmer's Pocket Scale*. D.H.Ela, 1845.
- Pasquale, Joe. *The slide rule - Calculating by mind and hand*. Oughtred Society meeting, novembre 2005.
- Podmore, J.C. *The slide rule for sea and air navigation*. Brown, Son and Ferguson, 1933-1974.
- Poole, Reginald. *The exchequer in the twelfth century*. University of Oxford, 1911.
- Presciuttini, Paola. *Coste del Mondo nella cartografia europea*. Priuli & Verlucca, 2000.
- Rance, David. *Reckon on it! A very British trait*. 15th Int. Meeting of Slide Rule Collectors, 2009.
- Rizzo, Ottavio. *Ruote cifranti*. Dipartimento di matematica dell'Università di Milano, ?
- Russo, A. Thomas. *Antique Office Machines*. Schiffer Publishing, 2001.
- Saladino, Lucia. *Nuova guida per l'uso del regolo calcolatore di qualsiasi marca*. F. Manini, 1942.
- Salmeri, Antonio. *Regoli e Nomografia*. Su "Le Scienze", luglio 2006.
- Stanley, Philip E. *A Source Book for Rule Collectors*. Astragal Press, 2003.
- Stoll, Cliff. *When the slide rules ruled*. Su "American Scientific", maggio 2006.
- Vacca, Roberto. *Come imparare più cose e vivere meglio*. Arnoldo Mondadori Editore, 1981.
- van Herwijnen, Herman. *Slide Rule Catalogue*. Otto van Poelje, 2005, su [www.rechenlinialen.com](http://www.rechenlinialen.com).
- Von Jezierski, Dieter. *Slide Rules - A Journey Through Three Centuries*. Astragal Press, 2000.
- van Poelje, Otto. *The Demise of the Slide Rule*. [www.rekeninstrumenten.nl](http://www.rekeninstrumenten.nl), 2002.
- Weiss, Stephan. *Non-decimal Slide Adders and the Carry*. Weiss, 2009.






**Nel 1617 viene dato alle stampe "Rabdologiae" di John Napier: nasce il primo calcolatore scientifico, utilizzato per oltre 300 anni.**



© Nicola Marras 2012

Quest'opera è stata rilasciata con licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 3.0 Unported. Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/> o spedisci una lettera a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA. 

I contenuti sono stati in gran parte prodotti in proprio ma è presente anche materiale di proprietà di terzi ed altro è stato prelevato in rete, apparentemente di pubblico dominio. In generale è stata chiesta l'autorizzazione all'uso, cosa purtroppo non sempre possibile, e in ogni caso viene sempre riportato il nome dell'autore e il link al suo sito personale. Per il materiale prelevato in rete ho tentato di individuare i detentori dei diritti, con ricerche incrociate e/o seguendo i link contenuti nelle pagine di origine, e qualora il nome del proprietario non sia presente bisogna considerare l'autore come a me sconosciuto.

Nel caso qualcuno si accorgesse che, a mia insaputa, è presente materiale coperto da copyright è invitato a comunicarmelo documentando la legittimità dei diritti all'indirizzo [info@nicolamarras.it](mailto:info@nicolamarras.it), in modo che possa citarne in modo corretto la proprietà intellettuale o rimuoverlo: il mio intendimento è di applicare tutte le norme in vigore sulla tutela giuridica delle opere dell'ingegno.

Questa copia è una "prova colore": alla data di stampa il lavoro è ancora in via di sviluppo e non tutte le immagini fornite da terzi hanno già ricevuto l'autorizzazione per essere pubblicate a scopo di lucro. Può essere quindi distribuita per il solo uso personale o didattico e l'utilizzo a fini di insegnamento o di ricerca scientifica deve avvenire per finalità illustrative non commerciali.

*Copia prova colore - Data Copy Service s.n.c. [datacopyservice@tiscali.it](mailto:datacopyservice@tiscali.it) - Cagliari, 20 giugno 2012*

