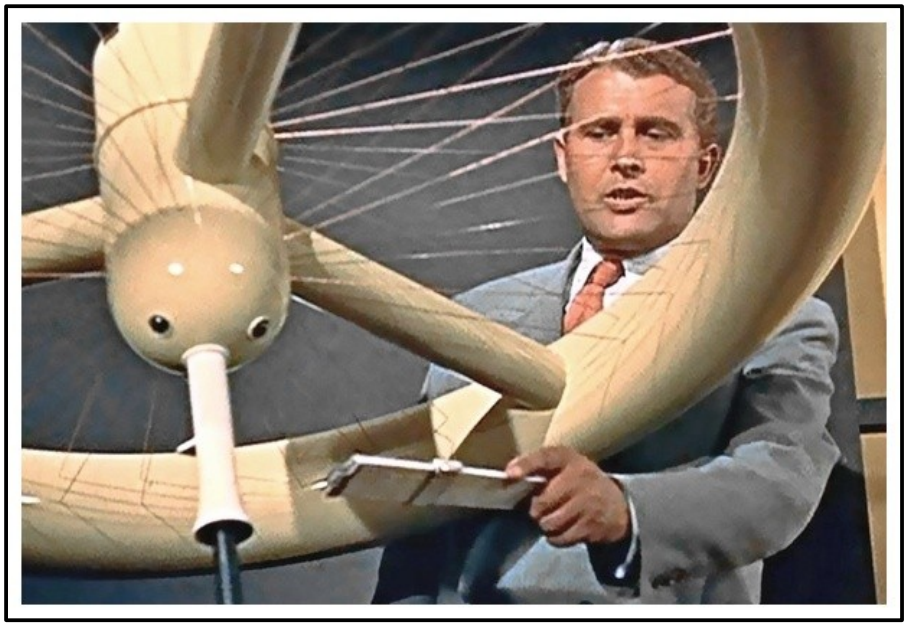
Ingegneri senza computer

progettare prima dell'era digitale



Newton e von Braun disponevano degli stessi calcolatori, rimasti invariati dal 1600 allo sbarco sulla Luna: l'era digitale ha solo 50 anni.

cagliari festivalscienza

ARC

UAM

International Slide Rule Museum

Science on Stage Europe

The Oughtred Society

educational solutions

Nicola Marras
make learning easier

www.nicolamarras.it

Nel 1955 esistevano pochi calcolatori elettronici per uso civile, ma la tecnologia era già molto avanzata.

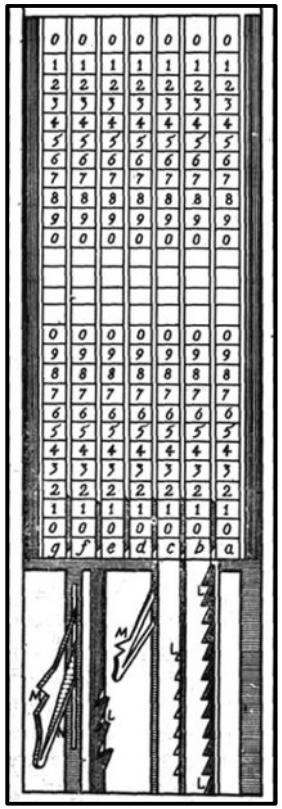
Fino a 40 anni fa tutto veniva progettato con strumenti di calcolo concepiti nel XVII secolo, la cui memoria è stata cancellata dalla fulminea diffusione del computer.

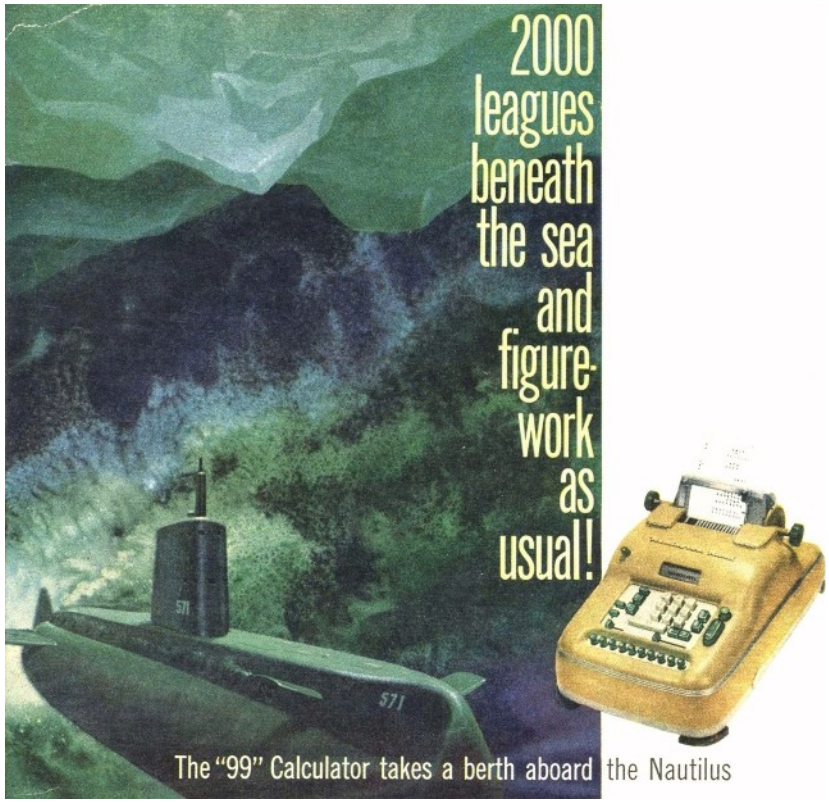
Gli strumenti di calcolo classici si dividono in due grandi categorie: le *calcolatrici meccaniche digitali*, che effettuano solo addizioni e sottrazioni e i *regoli calcolatori analogici*, che espletano tutte le funzioni di un moderno calcolatore scientifico eccetto somme e differenze.

Entrambe le tipologie vennero prodotte a lungo, qui la calcolatrice meccanica Curta, 1961, e il regolo calcolatore dell'Apollo 11, 1969

I – Le calcolatrici digitali

Le calcolatrici meccaniche, prodotte fino a ca. il 1975, discendono principalmente da tre tipologie di brevetti: Pascal, 1642; Perrault, 1670 e Leibniz, 1671.

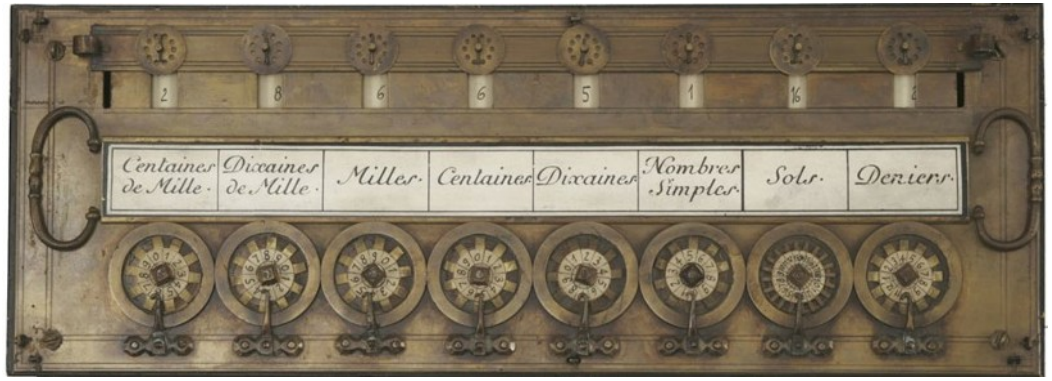




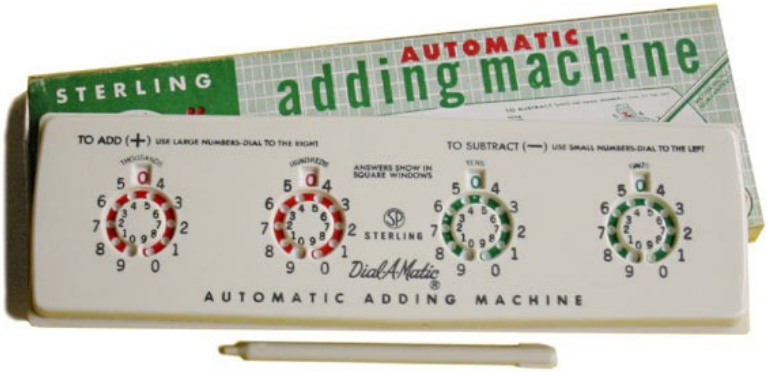
L'invenzione di Pascal, brevetto Perrault, calcolatrice derivata 'Leibniz'

Nel 1642, a soli 19 anni, Blaise Pascal creò la prima calcolatrice digitale, subito soprannominata *pascalina*, in grado di eseguire solo addizioni e sottrazioni. I numeri si inseriscono con uno stilo su rotelle simili al combinatore telefonico, il risultato si legge sul display meccanico.

Non venne subito prodotta in serie a causa della scarsa tecnologia dell'epoca. Solo all'inizio del '900 fu possibile costruirla in grandi numeri e, copiata da tutti, rimase poi in commercio fino al 1975 circa.



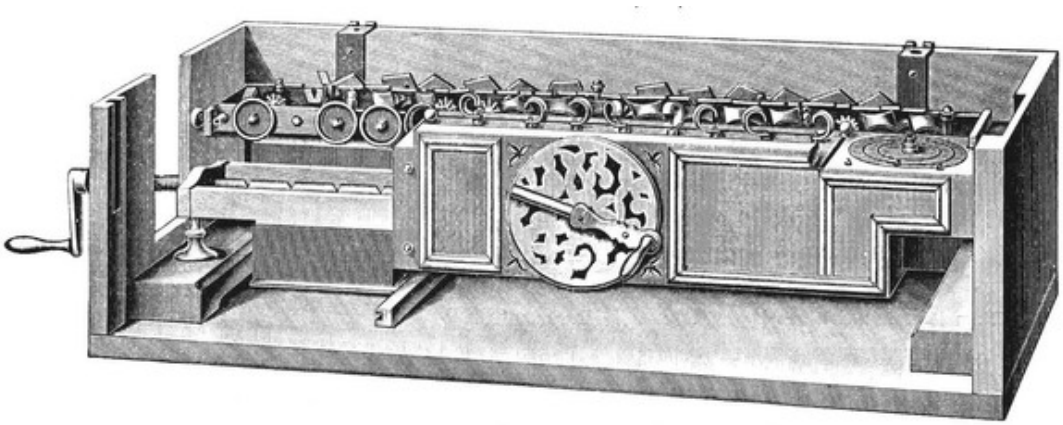
Pascalina, 1642

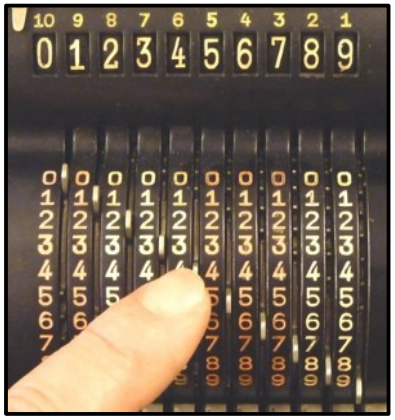


Dial-A-Matic, 1975

Nel 1671 Leibniz, riprendendo l'idea di Pascal, ideò una calcolatrice che potesse anche moltiplicare e dividere.

Questa macchina, basata su una complessa memoria meccanica, incontrò le stesse difficoltà costruttive della *pascalina*. Alla fine dell'800 Odhner semplificò il sistema, dando il via ad una serie di modelli caratterizzati dall' inserimento dei numeri a cursore. L'ultimo è del 1971, tre secoli dopo: fu utilizzato per anni dai piloti di rally.





Calcolatrice di Leibniz; inserimento numeri a cursore; modello tascabile

La produzione migliorò costantemente e apparvero le tastiere, spesso con tasti per ogni colonna decimale.

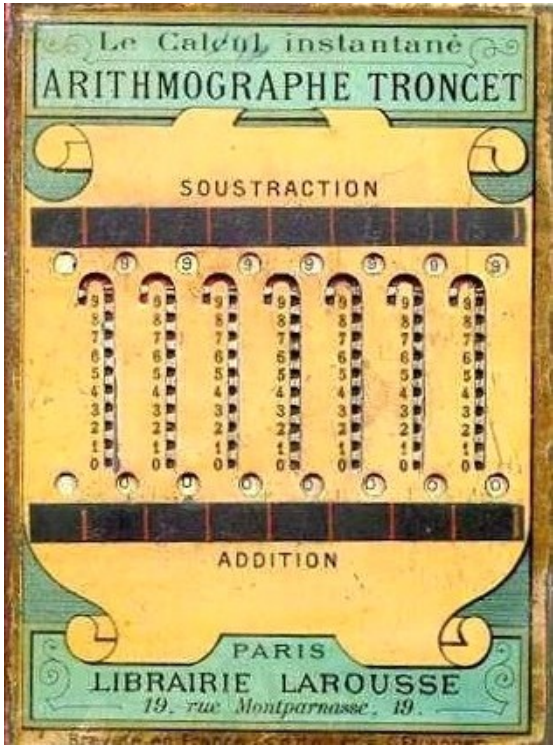
Le calcolatrici sono sempre state lente nell'effettuare moltiplicazioni e divisioni, solo l'Olivetti Divisumma del 1948 poteva eseguire rapidamente le 4 operazioni, ma era molto più cara di una buona automobile!

Comptometer, 1887 - 1970

Olivetti Divisumma, 1948 - 1970

I calcolatori meccanici sono generalmente ingombranti e già nel 1670 l'architetto del Louvre Claude Perrault aveva proposto una piccola addizionatrice tascabile.

Fu possibile produrla in serie solo dal 1889, rimase poi sul mercato senza modifiche fino al 1986.



Arithmographe, 1889

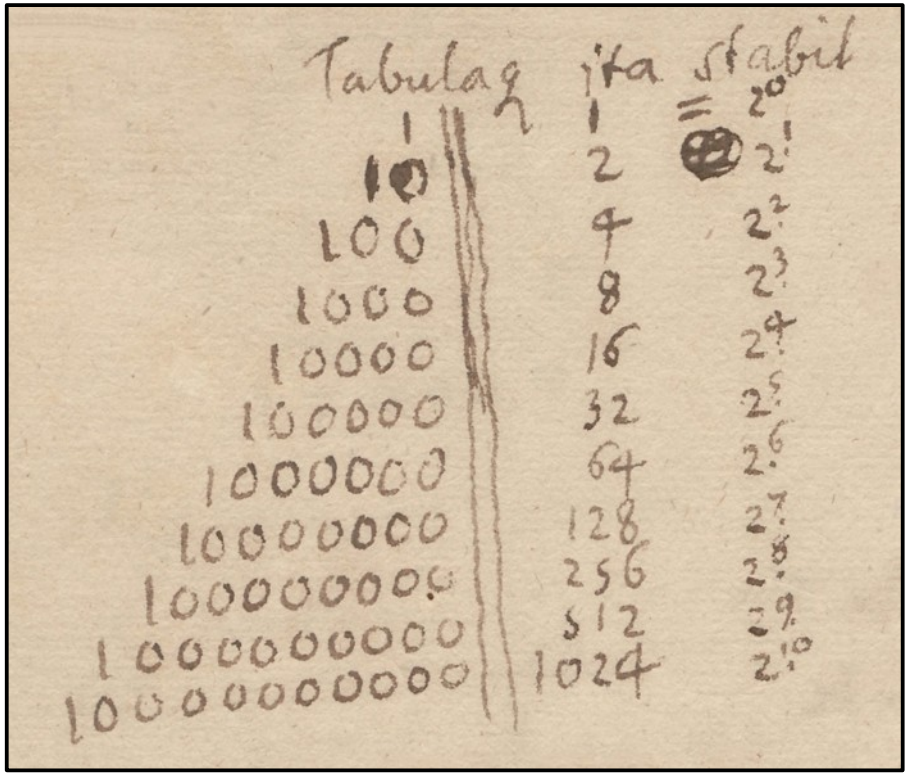
Il riporto dei numeri è semiautomatico

Arithma, 1986

Nel 1970 la Busicom, che produceva calcolatrici derivate dal progetto di Leibniz, commissionò alla neonata Intel un chip per costruire un moderno modello elettronico.

Il direttore tecnico Federico Faggin creò in soli 9 mesi, disegnandolo a mano, il primo microprocessore *(Intel 4004 - 2300 transistor)* firmato con le sue iniziali come un opera d'arte: si chiudeva dopo 328 anni l'epopea del calcolo meccanico.

Busicom HL-21, 1970, la firma sul 4004 e Busicom 141-PF, 1971



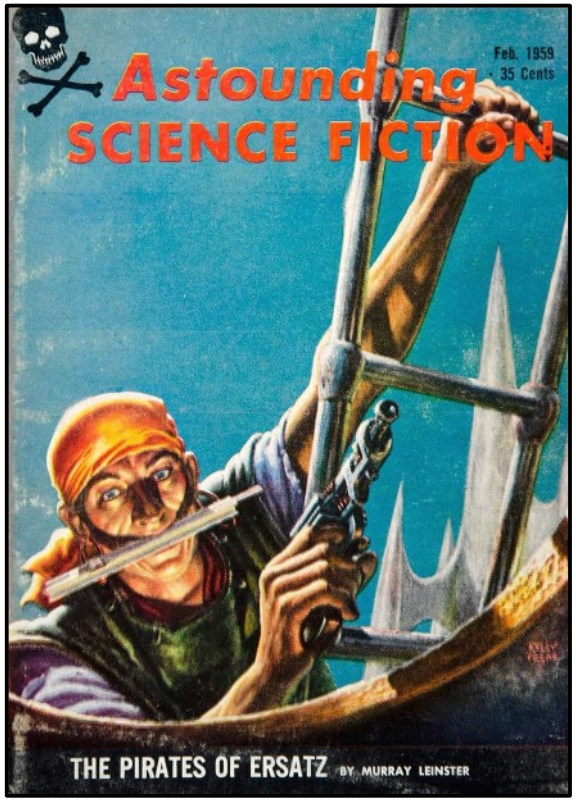
Un manoscritto di eccezione: “De Progressione Dyadica” di Gottfried von Leibniz, 1679.

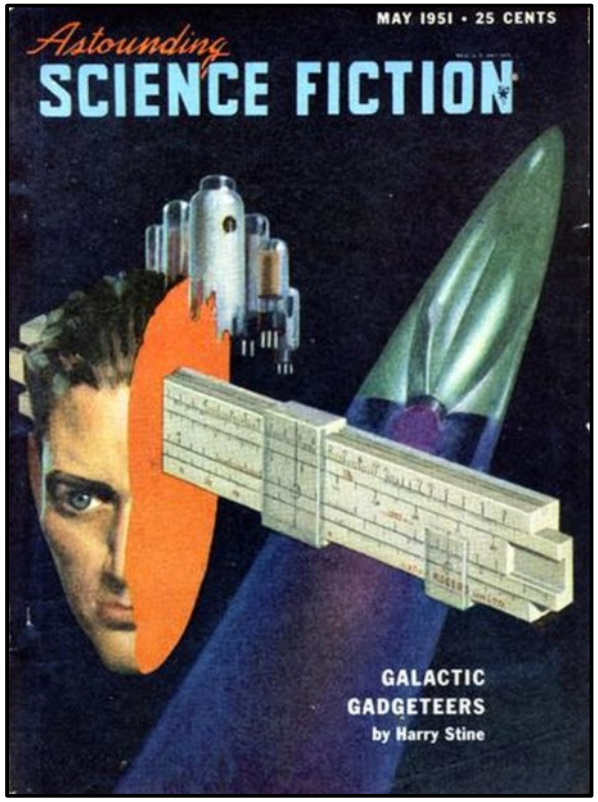
In sole 3 pagine vengono poste le basi del sistema binario, oggi alla base di tutti i computer.

Le calcolatrici meccaniche non eseguono agevolmente moltiplicazioni, divisioni ecc. e rimasero confinate agli usi contabili. Fino all’era digitale scienziati e ingegneri disponevano solo del calcolo logaritmico e analogico.

Leibniz aveva inventato il sistema binario nel 1679, ma per tre secoli non fu possibile utilizzarlo praticamente.

II – I regoli calcolatori analogici





Scrittori e registi di fantascienza non immaginavano che questo geniale strumento venisse mai sostituito, neppure in un futuro tecnologico. Era perfetto, leggero, facile da utilizzare e privo di batterie!

Vediamo la nascita del regolo calcolatore. Il matematico inglese John Napier sosteneva:

«I calcoli sono un operazione noiosa: questo è causa della disaffezione che si prova nei confronti della matematica».

Trovò la soluzione nel 1614 inventando i logaritmi, subito pubblicati in forma di tavole (o tabelle) col titolo di:

Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio

La storia del calcolo scientifico moderno inizia con un testo latino.

Il logaritmo (*log*) di un numero è l'esponente al quale elevare la base per ottenere il numero stesso. Il *log* di 100 in base 10 è 2: ($10^2 = 100$).

Moltiplicare è facile in quanto *il prodotto di 2 numeri è uguale alla somma dei loro log.* Dobbiamo cercarli nelle tavole e sommarli: troviamo il *log* della somma e riconsultando le tavole otterremo il prodotto richiesto.

100x1.000 si esegue come: $10^2+10^3=10^5=100.000$.

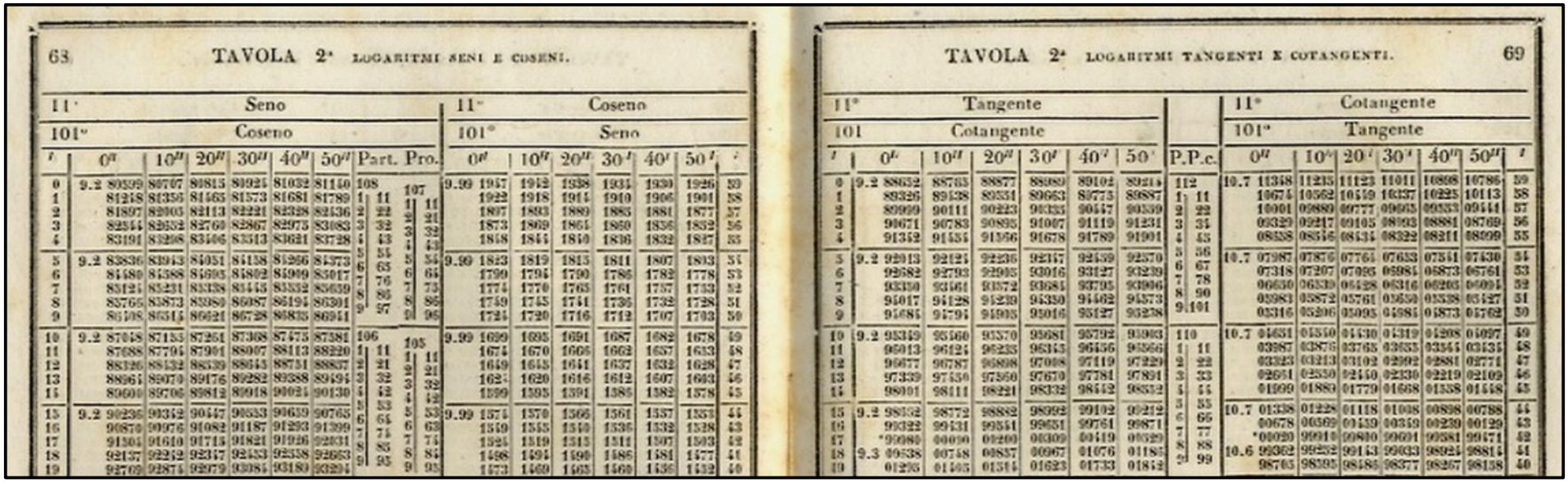
Per dividere basta sottrarre gli esponenti, moltiplicandoli e dividendoli troveremo i quadrati, i cubi e le radici.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.0	0	0.0043	0.0086	0.0128	0.017	0.0212	0.0253	0.0294	0.0334	0.0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
1.1	0.0414	0.0453	0.0492	0.0531	0.0569	0.0607	0.0645	0.0682	0.0719	0.0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34

I logaritmi da 1,0-1,9 e 1,1-1,9: nelle tavole troviamo tutti i log dei numeri fino al 100.000 e i loro antilog per convertire i risultati. Per valori superiori si opera interpolando: sono centinaia di pagine

Con i logaritmi si ha una precisione di 6 cifre decimali: Keplero li utilizzò per calcolare le orbite dei pianeti, ma le tavole sono lente e difficili da utilizzare negli impieghi giornalieri. Vennero ristampate fino al 1980 circa.

Agli ingegneri però occorre calcolare rapidamente ed è sufficiente una precisione di due decimali. Dagli stessi logaritmi stava per arrivare la soluzione.



63 TAVOLA 2ª LOGARITMI SENI E COSENI.

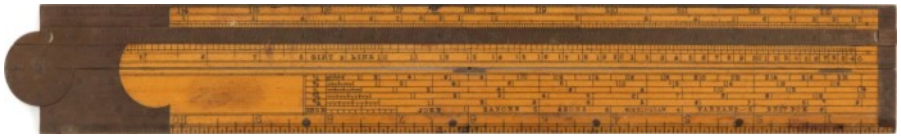
11° Seno / 101° Coseno								11° Coseno / 101° Seno						
′	0″	10″	20″	30″	40″	50″	Part. Pro.	0″	10″	20″	30″	40″	50″	′
0	9.2 80599	80707	80815	80924	81032	81140	108	9.99 1947	1942	1938	1934	1930	1926	59
1	81248	81356	81465	81573	81681	81789	1 11	1922	1918	1914	1910	1906	1901	58
2	81897	82005	82113	82221	82328	82436	2 22	1897	1893	1889	1885	1881	1877	57
3	82544	82652	82760	82867	82975	83083	3 32	1873	1869	1865	1860	1856	1852	56
4	83191	83298	83406	83513	83621	83728	4 43	1848	1844	1840	1836	1832	1827	55
5	9.2 83836	83943	84051	84158	84266	84373	5 54	9.99 1823	1819	1815	1811	1807	1803	54
6	84480	84588	84695	84802	84909	85017	6 65	1799	1794	1790	1786	1782	1778	53
7	85124	85231	85338	85445	85552	85659	7 76	1774	1770	1765	1761	1757	1753	52
8	85765	85873	85980	86087	86194	86301	8 86	1749	1745	1741	1736	1732	1728	51
9	86408	86515	86622	86728	86835	86941	9 97	1724	1720	1716	1712	1707	1703	50
10	9.2 87048	87155	87261	87368	87475	87581	106	9.99 1699	1695	1691	1687	1682	1678	49
11	87688	87794	87901	88007	88113	88220	1 11	1674	1670	1666	1662	1657	1653	48
12	88326	88432	88539	88645	88751	88857	2 21	1649	1645	1641	1637	1632	1628	47
13	88963	89070	89176	89282	89388	89494	3 32	1624	1620	1616	1612	1607	1603	46
14	89600	89706	89812	89918	90024	90130	4 42	1599	1595	1591	1585	1582	1578	45
15	9.2 90235	90342	90447	90553	90659	90765	5 53	9.99 1574	1570	1566	1561	1557	1553	44
16	90870	90976	91082	91187	91293	91399	6 64	1549	1545	1540	1536	1532	1528	43
17	91504	91610	91715	91821	91926	92031	7 74	1524	1519	1515	1511	1507	1503	42
18	92137	92242	92347	92453	92558	92663	8 85	1498	1494	1490	1486	1481	1477	41
19	92769	92874	92979	93084	93189	93294	9 95	1473	1469	1465	1460	1456	1452	40

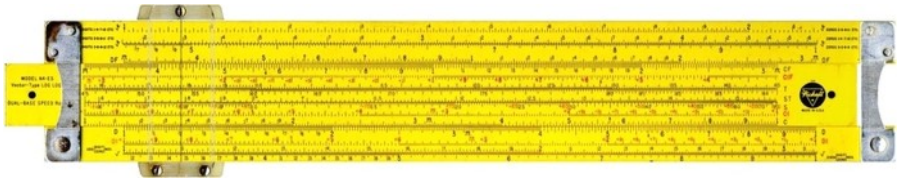
TAVOLA 2ª LOGARITMI TANGENTI E COTANGENTI. 69

11° Tangente / 101 Cotangente								11° Cotangente / 101° Tangente						
′	0″	10″	20″	30″	40″	50″	P.P.c.	0″	10″	20″	30″	40″	50″	′
0	9.2 88652	88765	88877	88989	89102	89214	112	10.7 11348	11235	11123	11011	10898	10786	59
1	89326	89438	89551	89663	89775	89887	1 11	10674	10562	10449	10337	10225	10113	58
2	89999	90111	90223	90335	90447	90559	2 22	10001	09889	09777	09665	09553	09441	57
3	90671	90783	90895	91007	91119	91231	3 34	09329	09217	09105	08993	08881	08769	56
4	91342	91454	91566	91678	91789	91901	4 45	08658	08546	08434	08322	08211	08099	55
5	9.2 92013	92124	92236	92347	92459	92570	5 56	10.7 07987	07876	07765	07653	07541	07430	54
6	92682	92793	92905	93016	93127	93239	6 67	07318	07207	07095	06984	06873	06761	53
7	93350	93461	93572	93684	93795	93906	7 78	06650	06539	06428	06316	06205	06094	52
8	94017	94128	94239	94350	94462	94573	8 90	05983	05872	05761	05650	05538	05427	51
9	94684	94794	94905	95016	95127	95238	9 101	05316	05206	05095	04984	04873	04762	50
10	9.2 95349	95460	95570	95681	95792	95903	110	10.7 04651	04540	04430	04319	04208	04097	49
11	96013	96124	96235	96345	96456	96566	1 11	03987	03876	03765	03655	03544	03435	48
12	96677	96787	96898	97008	97119	97229	2 22	03323	03213	03102	02992	02881	02771	47
13	97339	97450	97560	97670	97781	97891	3 33	02661	02550	02440	02330	02219	02109	46
14	98001	98111	98221	98332	98442	98552	4 44	01999	01889	01779	01668	01558	01448	45
15	9.2 98662	98772	98882	98992	99102	99212	5 55	10.7 01338	01228	01118	01008	00898	00788	44
16	99322	99431	99541	99651	99761	99871	6 66	00678	00569	00459	00349	00239	00129	43
17	*99980	00090	00200	00309	00419	00529	7 77	*00020	99910	99800	99691	99581	99471	42
18	9.3 00638	00748	00857	00967	01076	01185	8 88	10.6 99362	99252	99143	99033	98924	98814	41
19	01296	01405	01514	01623	01733	01842	9 99	98705	98595	98486	98377	98267	98158	40

Esempio di tavole, evidente la difficoltà di consultarle rapidamente

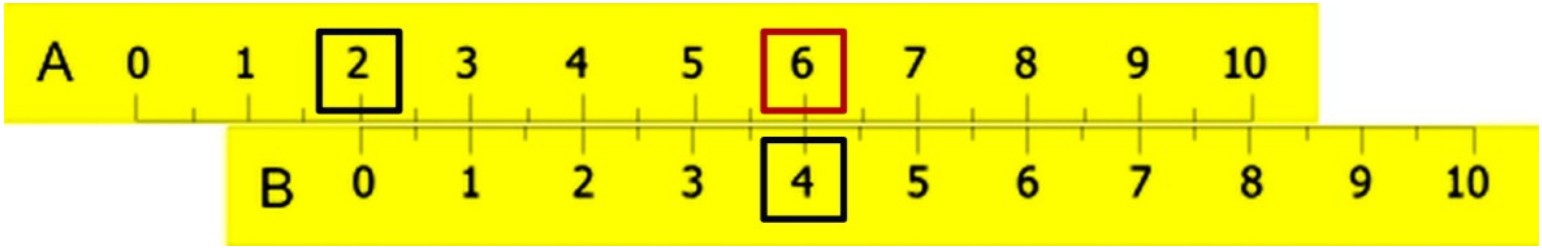
Nel 1622 William Oughtred disegnò la scala logaritmica inventando il regolo calcolatore, uno strumento col quale si progettò tutto per secoli, dalla nave *Endeavour* di James Cook,1764, ai jet *B-52* ancora in esercizio.





Uno dei primi regoli prodotti, ca. 1675, e l'ultimo: Pickett N4, 1975

Il regolo analogico effettua misurazioni lineari, operando in modo *analogo* al normale calcolo digitale. Vediamo come sommare utilizzando due comuni righelli metrici: per eseguire 2+4 basta mettere lo 0 del righello B in corrispondenza di 2 nel righello A, leggendo il risultato sopra il 4 di B.



Per sottrarre basta invertire il procedimento: 6-4=2.

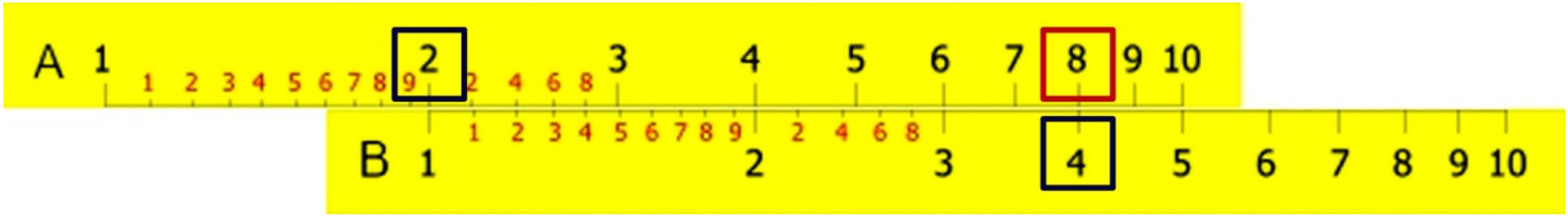
Anche utilizzando scale molto precise non si riesce a operare con numeri superiori a 100: per sommare o sottrarre il regolo metrico è decisamente inferiore a qualsiasi altro sistema di calcolo.

Le cose cambiano marcando sui righelli i numeri a una distanza dall'origine proporzionale al valore del loro logaritmo. Questa la scala immaginata da Oughtred:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,301	0,477	0,602	0,699	0,778	0,845	0,903	0,954	1

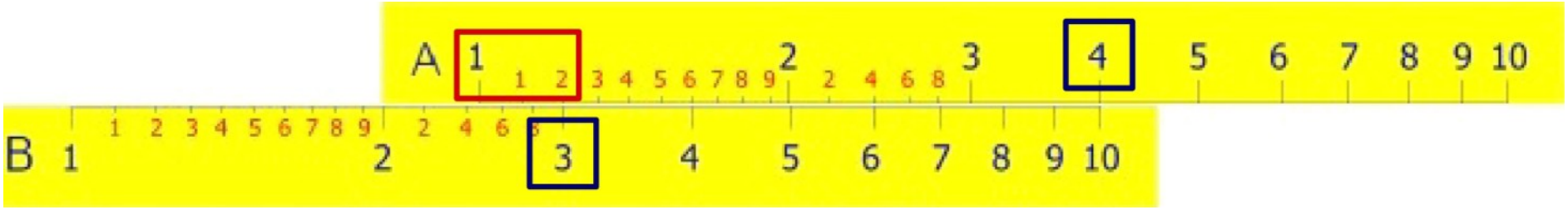
l'1 è il punto di partenza, il 2 si trova a 3,01 cm, il 3 a 4,77 e così via fino a 10. Aggiungiamo le divisioni secondarie, (logaritmi tra 1 e 99) e possiamo rappresentare ogni numero visto che il 3 è leggibile anche come 3.000, 300, 0,3, 00,3, ecc. Per moltiplicare non bisogna più cercare i logaritmi nelle tavole e sommarli, ma operare secondo il principio analogico.

Per eseguire 2x4 allineiamo l’1 del righello B in corrispondenza del 2 nel righello A: leggeremo il risultato sopra il 4 di B.

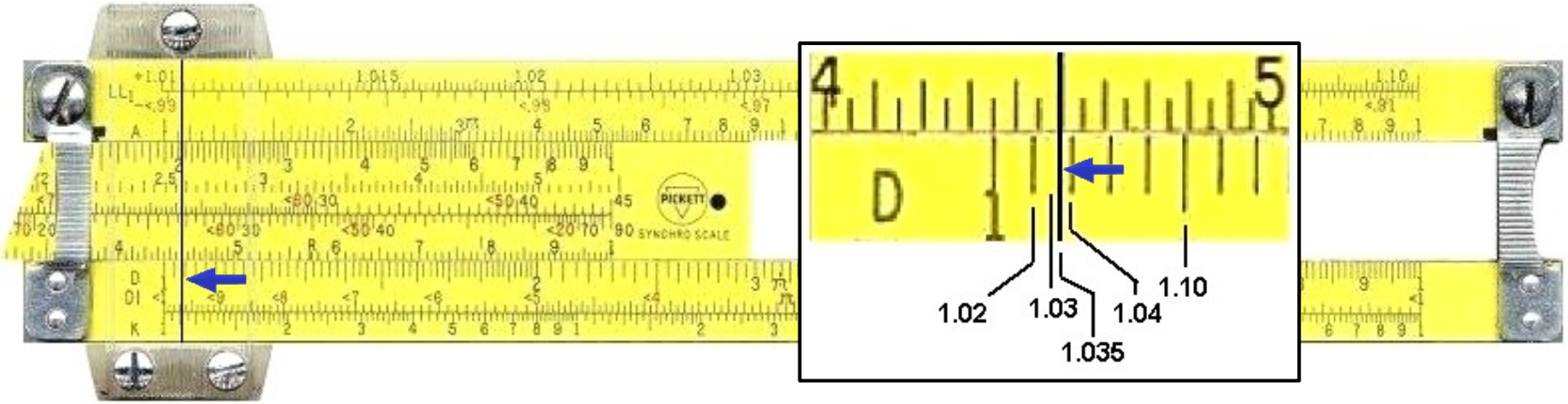


Abbiamo uno strumento per moltiplicare e l'immagine mostra intuitivamente anche come dividere, es. 8÷4.

Con 3x4 si va fuori scala e utilizziamo 10 invece di 1. Risultato 1,2 e calcoliamo noi il separatore decimale: 12.



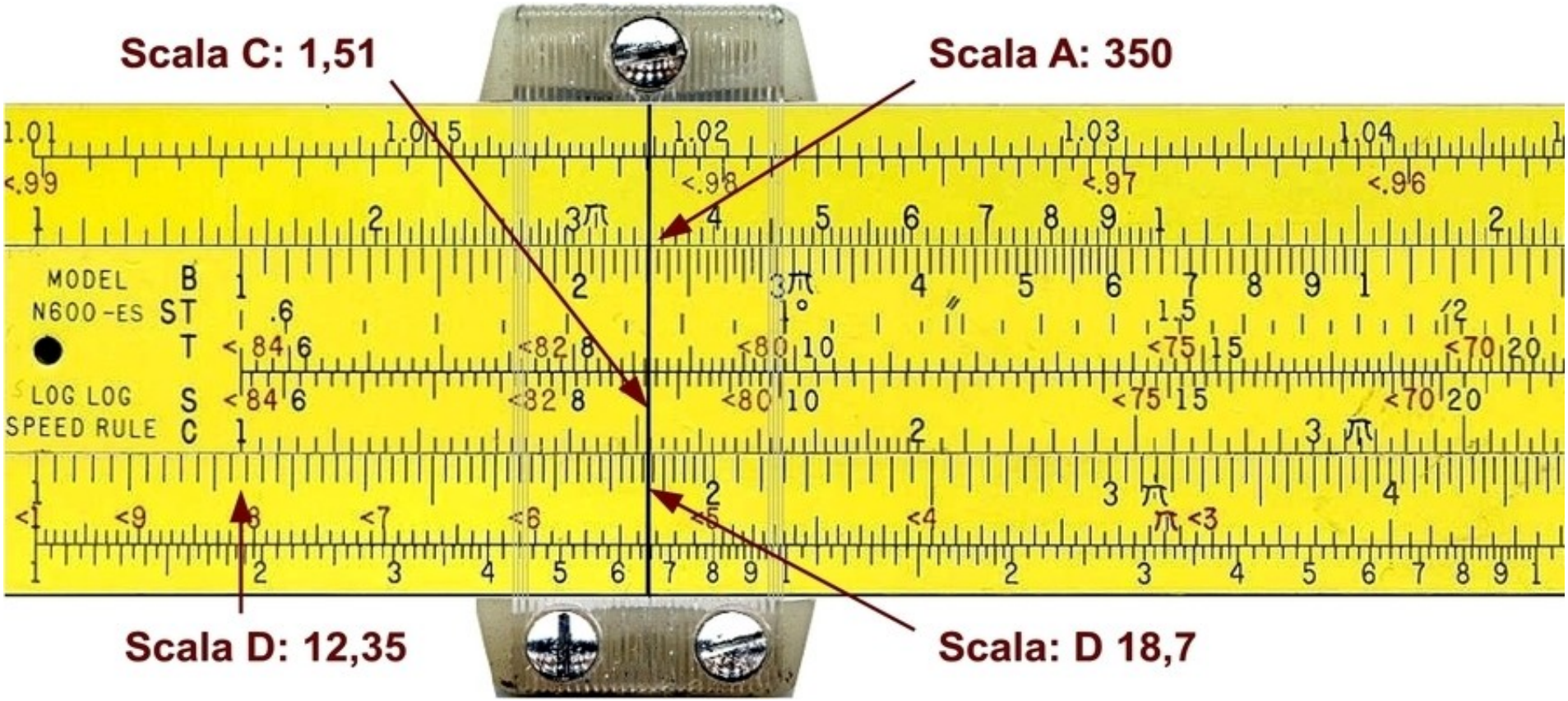
I decimali e le virgole vanno sempre calcolati a mente, per eseguire 2.305x450 dobbiamo ridurre gli operandi a numeri compresi fra 1 e 10 approssimando: 2,3x4,5. Leggeremo 103,5 e calcoliamo il separatore decimale ottenendo 10.350. Il risultato esatto invece è 10.370, abbiamo un errore del 0,19%.



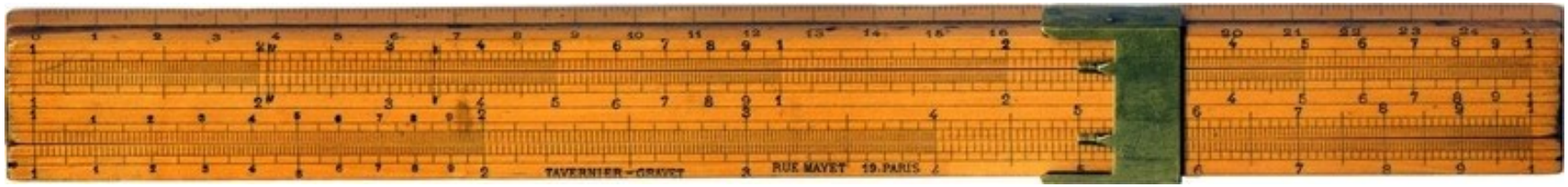
Il regolo moderno, munito di scorrevole e cursore per facilitare l'allineamento dei numeri, incorpora diverse scale e può espletare tutte le funzioni di una calcolatrice elettronica. Misura ca. 25 cm, 12 nei modelli tascabili.

Un altro esempio: √350/1,51. Spostando il cursore su 350, (3,5) scala A, troviamo la radice su D: 18,7.

Facciamo coincidere il cursore con l'1,51 della scala C e sulla D, sotto l'1, leggeremo 12,35. Il risultato esatto invece è: 12,38, abbiamo un errore del 0,25%.

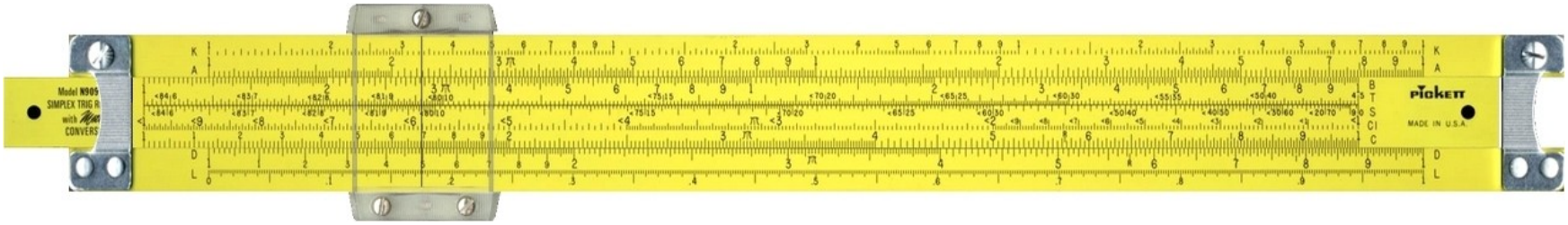


Regolo con 4 scorrevoli per usi fiscali, ca. 1800



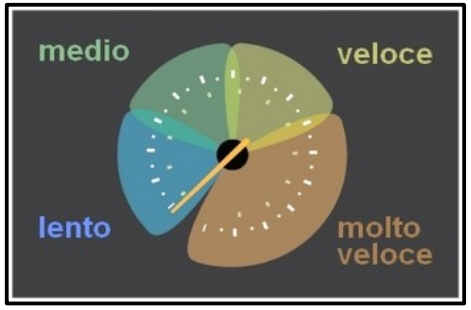
Tavernier-Gravet, il primo a montare un cursore, 1851

Nestler 23, il preferito da Einstein, 1930



Pickett N-909 in alluminio, 1965

La lettura analogica risulta meno precisa della digitale, ma è immediato valutarla: la lancetta dell'anemometro ci comunica istintivamente la forza del vento senza dover interpretare valori numerici. Per questo motivo la strumentazione auto continua a mostrare i parametri essenziali nel modo tradizionale.



Retro-look: il cruscotto full LCD della Porsche simula digitalmente la visualizzazione analogica.

Il regolo calcolatore ebbe una rapida diffusione e già nel 1700 ne esistevano svariati modelli.

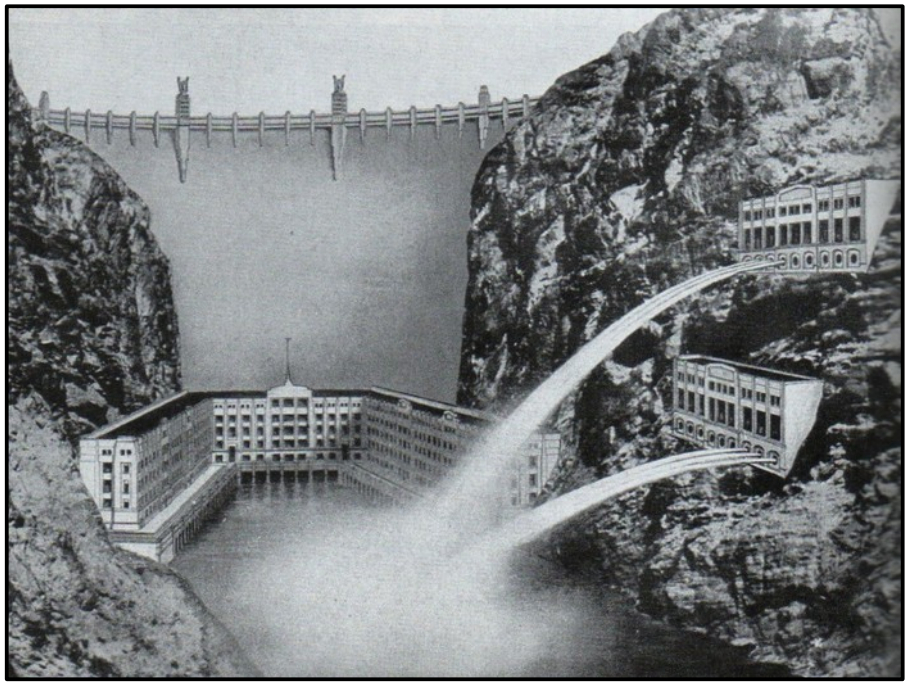
Il regolo fu l'arma segreta della Rivoluzione Industriale, permettendo lo sviluppo del motore a vapore, delle industrie e delle infrastrutture ferroviarie.

Tassazione delle botti di birra

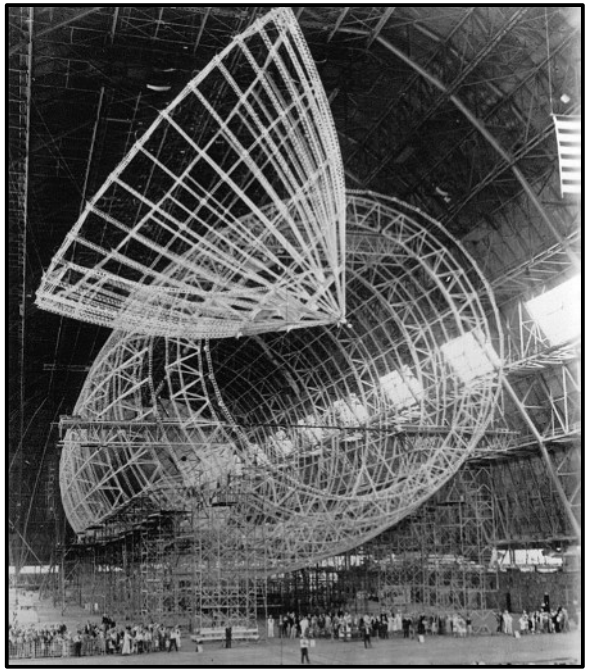
Routledge, ingegnere industriale

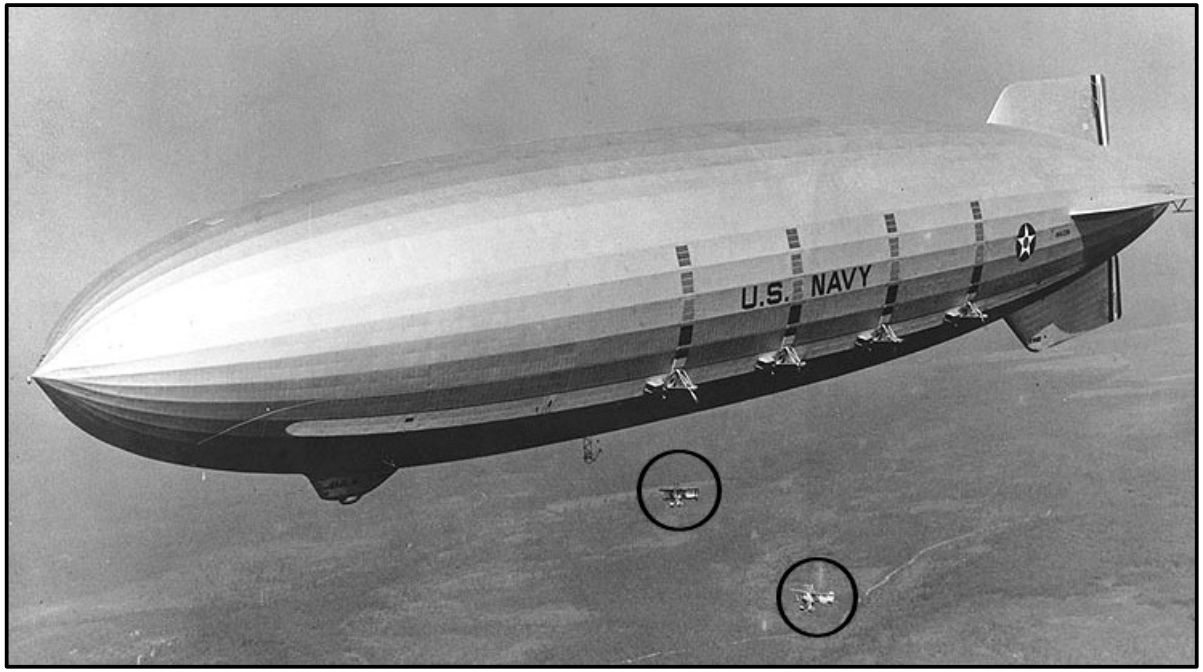
Calcolando tutto a mano bisognava avere in mente sin dall'inizio l'intero progetto, non c'era tempo per tentativi.

Noi invece possiamo inserire cento idee nel computer e conoscere subito la soluzione migliore. Se nel passato c'erano *molti esperti* specialisti, oggi bastano un abile programmatore e *molti semplici* utilizzatori.



Due opere gigantesche: diga Hoover, 1931, e Golden Gate, 1933



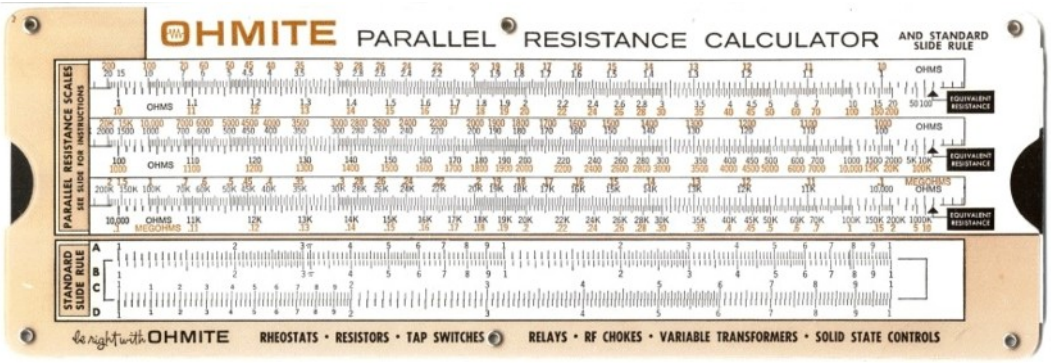


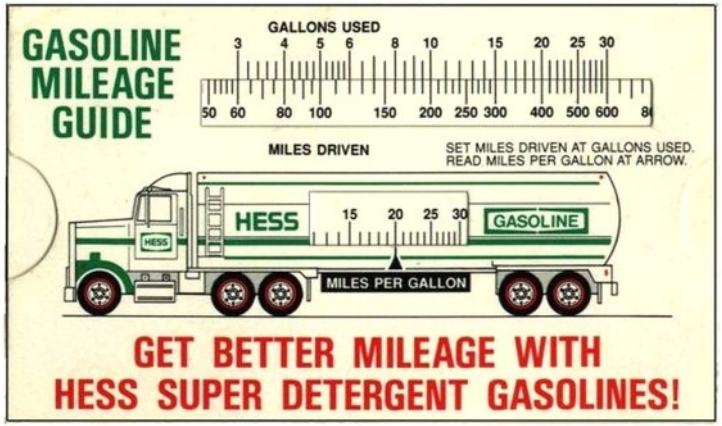
Portaerei in alluminio US Akron, 1929: 240 metri, 100 tons, 4500 HP.
Si notano 2 aerei pronti per essere imbarcati.

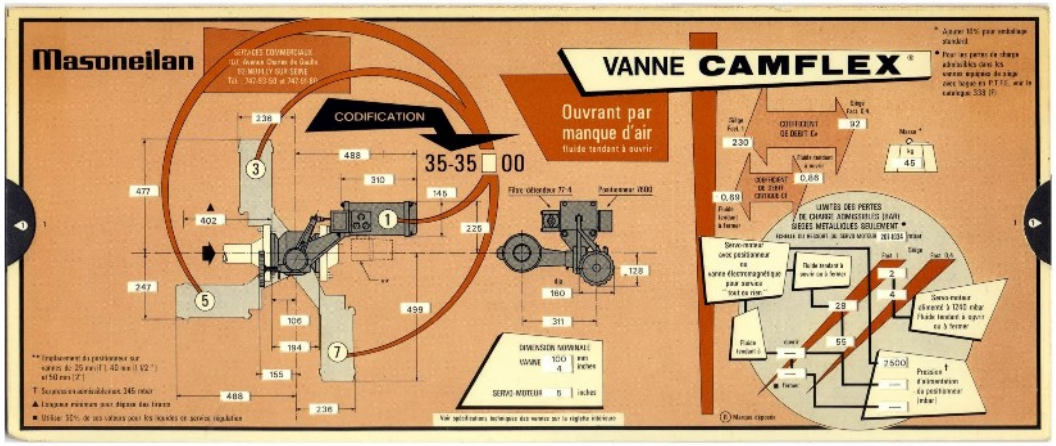
Per la progettazione di strutture complesse
si utilizzavano regoli con lunghissime scale

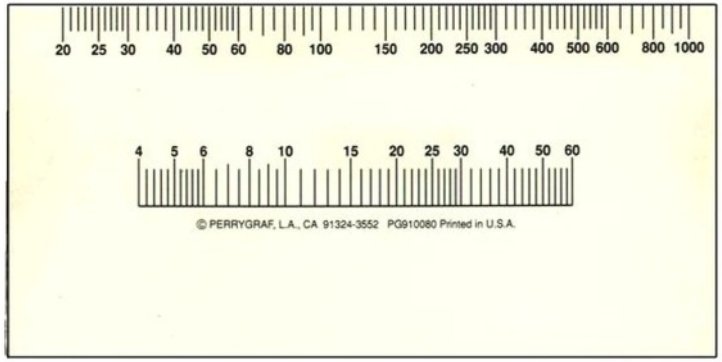
Una volta non esistevano le moderne *app* e questa funzione veniva svolta dalle economiche *slide charts*.

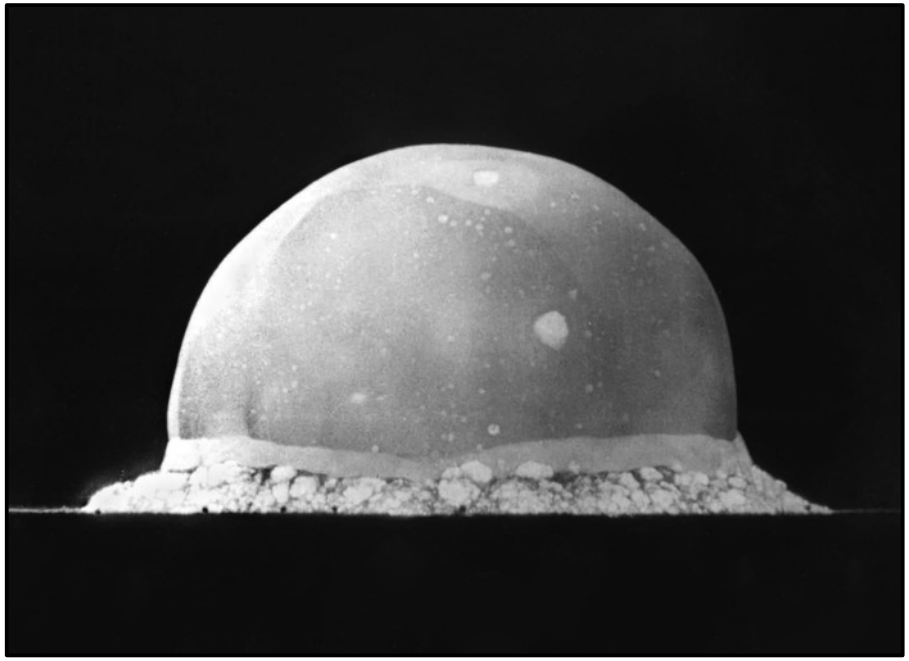
Costruite in cartoncino con un inserto scorrevole, sono programmate per risolvere solo problemi specifici. Il loro uso è istintivo e si trovano ancora in commercio.

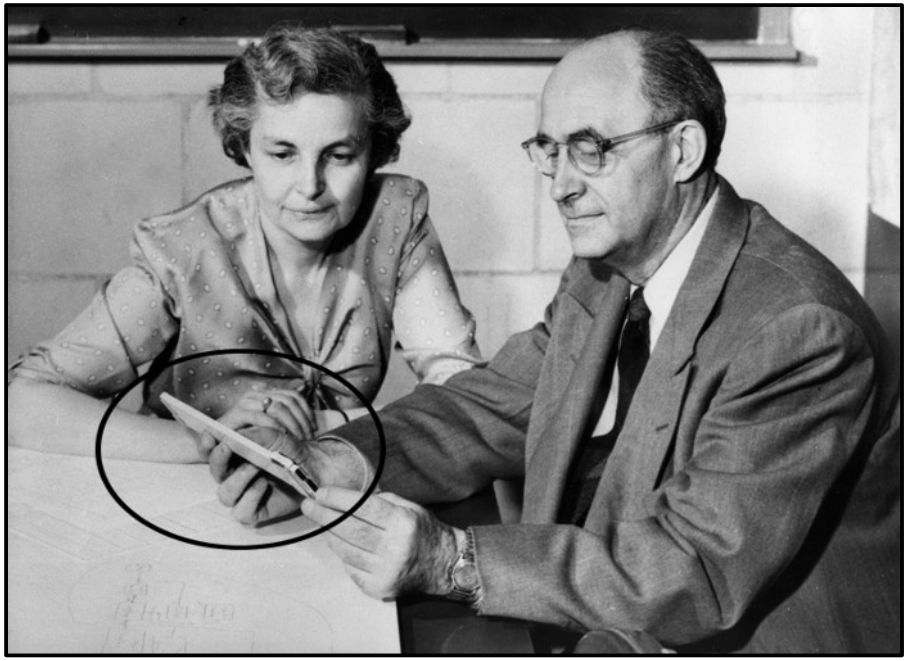




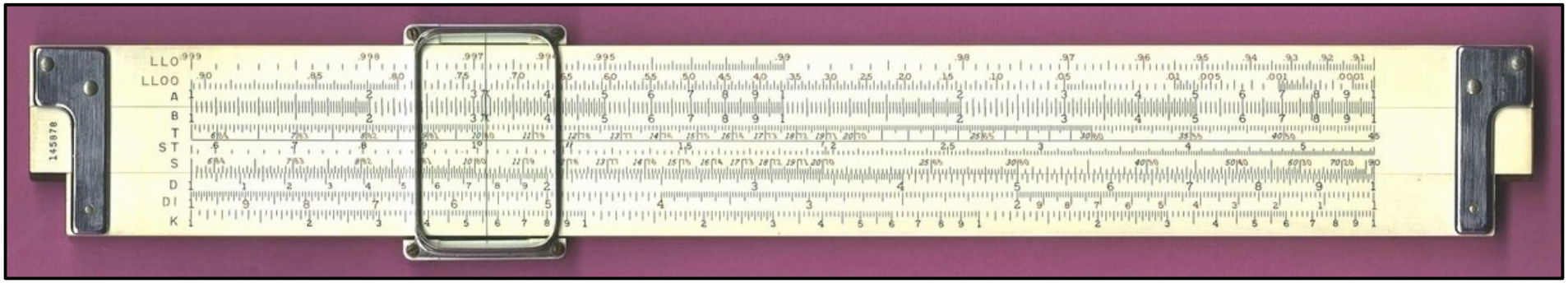






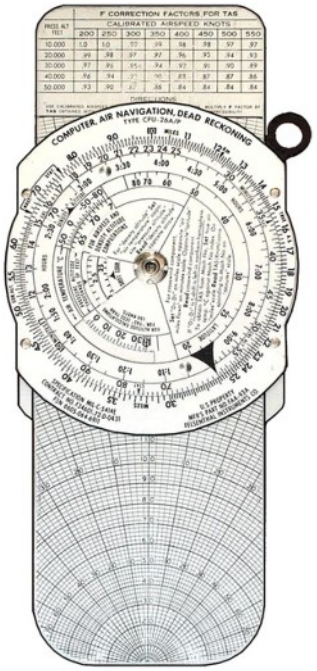


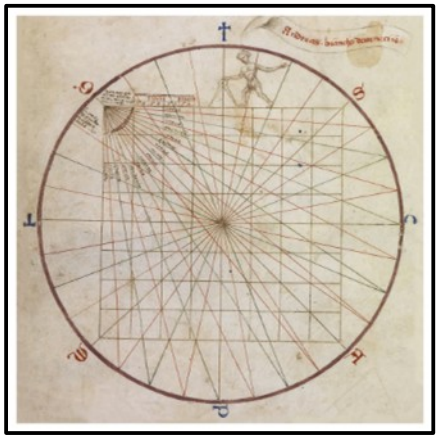
16 luglio 1945: il *Trinity Test* inaugura l'era nucleare. La reazione era stata calcolata da Enrico Fermi con il suo regolo calcolatore Keuffel & Esser mod. 4181.



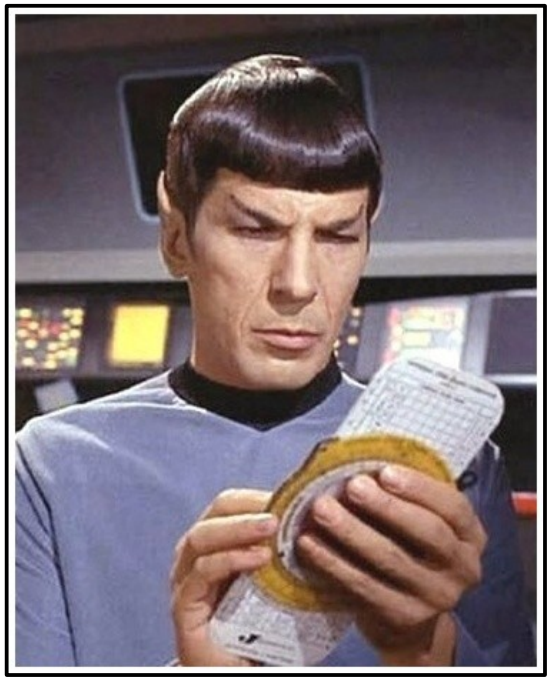
Fino al 1973 sugli aerei si utilizzavano specifici regoli calcolatori. In dotazione anche sui primi B 747 Jumbo sono dotati di grafici per determinare la posizione, simili alla *toleta de martelojo* utilizzata nel medioevo.

Apparivano davvero insostituibili e li ritroviamo anche sull'astronave di *Star Treck*, alcuni orologi sportivi ne incorporano una versione semplificata.





Calcolatori di rotta: E6-B 2017; Martelojo 1436; T-Heuer 2003; Star Enterprise E6-B ca. 2267



La potenza dei computer era rapportata ai regoli

Il calcolo strutturale computerizzato e la progettazione CAD nascono negli anni '50.

Per diversi anni restarono però discipline sperimentali scarsamente diffuse.

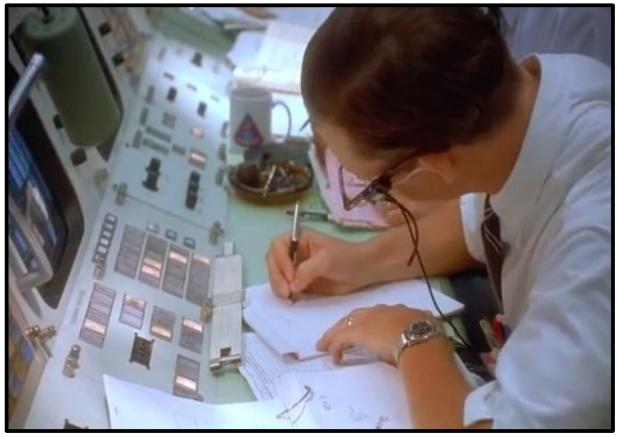
I pochi computer si trovavano nelle università e la potenza di calcolo mondiale era inferiore ad un iPhone 4.

Non esisteva interfaccia con l'utente: l'operatore doveva tradurre quesiti (e risposte) nel linguaggio macchina.

III – La fine di un’epoca

Il progetto Apollo è il confine fra calcolo tradizionale e moderno: realizzato al 90% con i regoli calcolatori diede un impulso decisivo allo sviluppo del PC.

I 400.000 tecnici della NASA disponevano in tutto di 27 computer, utilizzabili solo su prenotazione, e i calcolatori elettronici da tavolo non erano ancora in commercio.



Il Saturn V: più potenza di tutta l'odierna produzione elettrica lorda istantanea italiana. L'accensione era percepibile ad oltre 2.000 km.

«Statio Tranquillitatis here. The Eagle has landed».

Sul LEM usavano ancora il regolo calcolatore in quanto la CPU del computer era ben poco potente: 0.05MHz con 36kB di RAM, meno di un moderno tostapane.

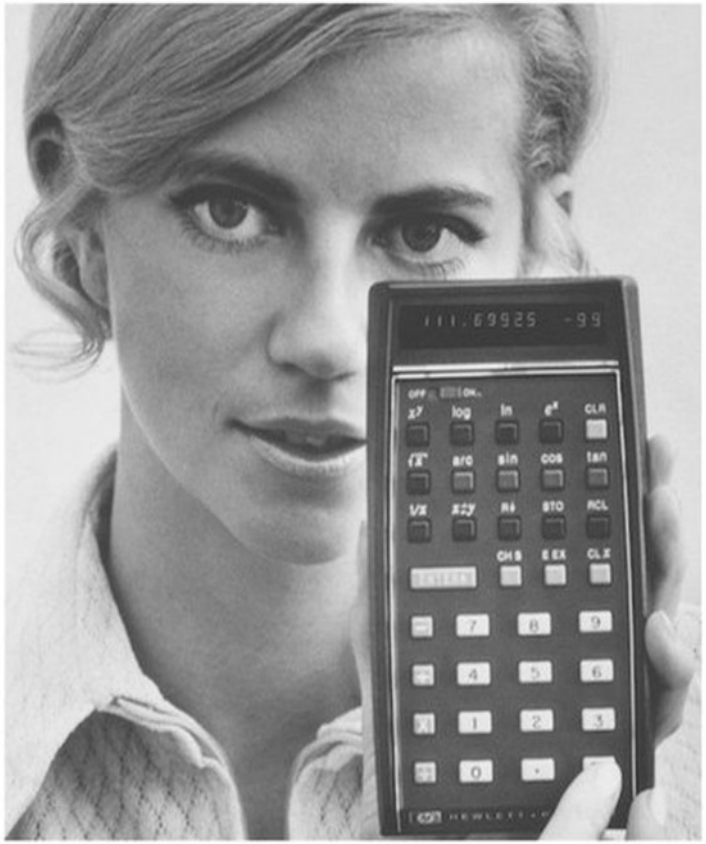
Solo 50 anni fa il regolo era considerato uno strumento all'avanguardia e la pubblicità vantava: *'Utilizzato in 5 missioni lunari!'*. Davvero una lunga carriera, ma...

...nel 1972 la Helwett Packard mise finalmente in vendita la prima calcolatrice scientifica di costo e dimensioni ridotte.

Si basava sul sistema binario inventato da Leibniz nel 1679 proprio per questo scopo. Lo scienziato infatti pensava:

«non conviene che gli uomini perdano, come schiavi, ore di lavoro per calcoli che possono essere affidati alle macchine».

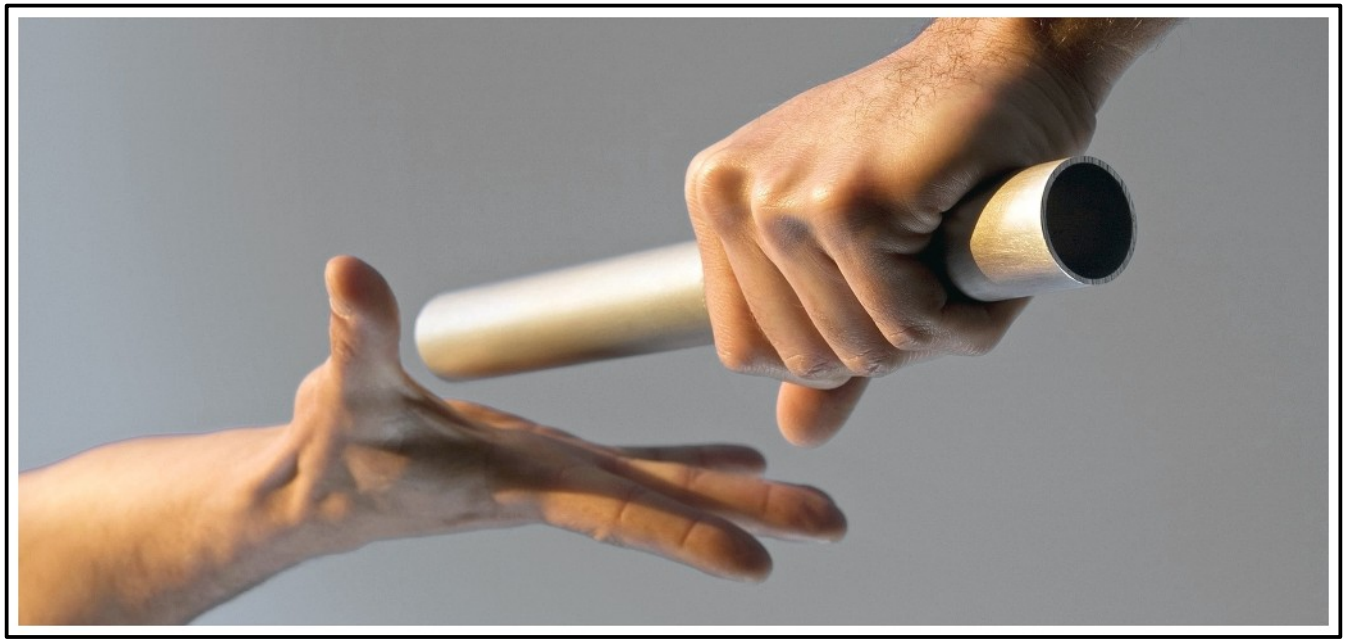
La facilità d'uso della HP rivoluzionò il modo di calcolare e i regoli scomparvero all'istante.



The New HP Electronic Slide Rule Calculator

Le prime calcolatrici non avevano un nome: erano chiamate 'regoli elettronici'

IV – Calcolo tradizionale e democrazia

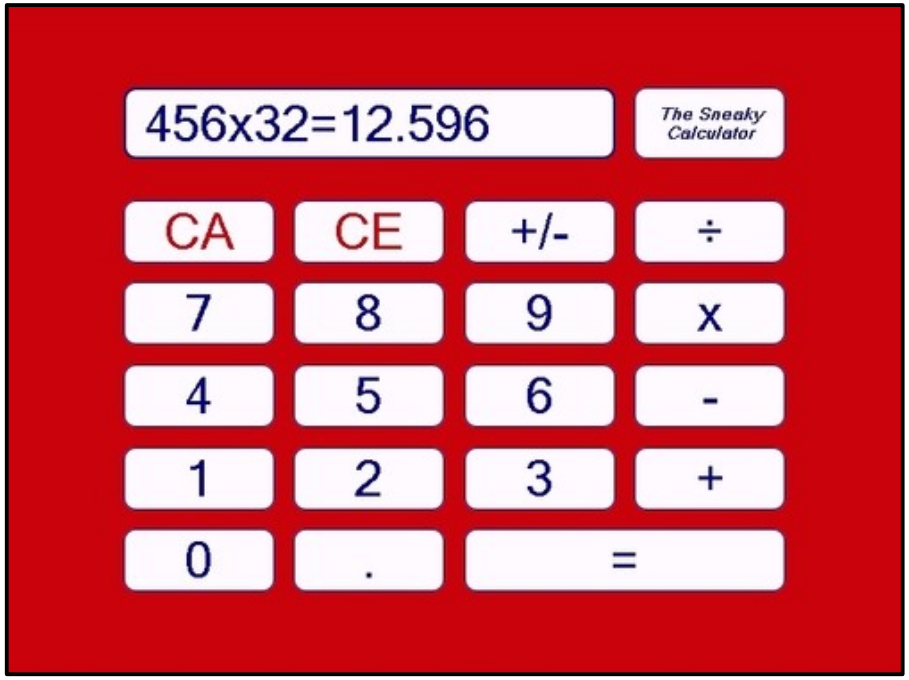


Una nuova sfida per gli antichi calcolatori: ridefinire il futuro tramandando il passato

Oggi il calcolo è delegato alle macchine e i risultati spesso recepiti acriticamente, senza idea di come vengano prodotti. Consideriamo i computer infallibili: un approccio che porta alla dipendenza mentale.

I regoli calcolatori non forniscono automaticamente il risultato: virgole e riporti vanno calcolati a mente e gli operatori erano abituati ad una continua verifica del lavoro fatto. Niente era preso per scontato.

Questa calcolatrice è difettosa, un tempo chiunque si sarebbe accorto subito del palese errore.



Il risultato giusto è 14.592

Anche noi spesso non controlliamo

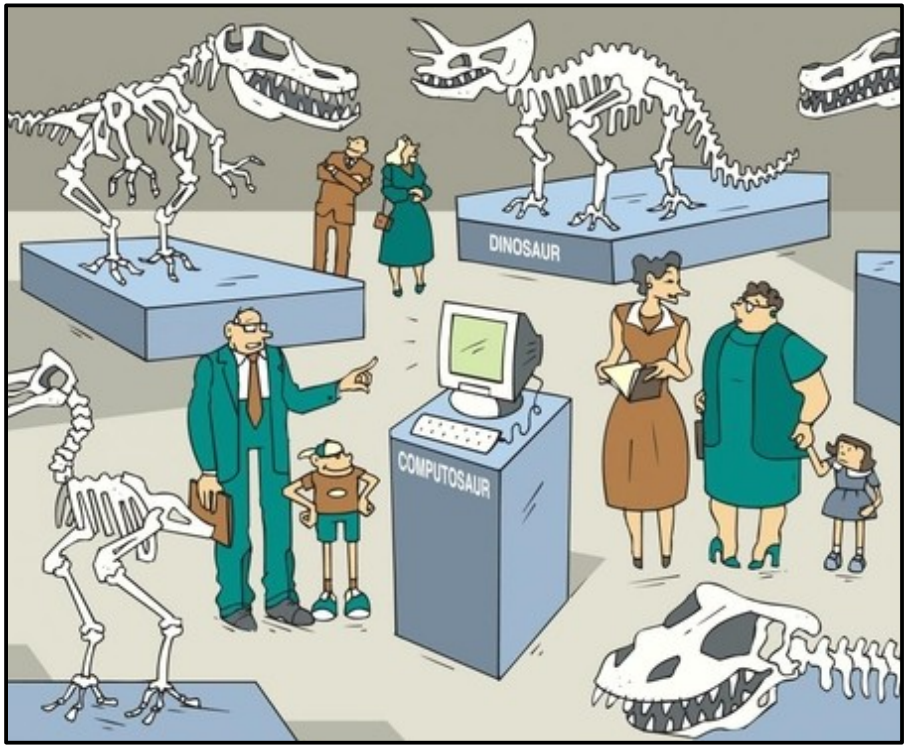
Credere che *'se gli esperti (o i display) lo sostengono deve essere vero'* crea sottomissione mentale, ci rende facilmente manipolabili. Il riscontro che stanno ottenendo le bufale e le teorie più assurde ne è un chiaro segno.

Non a caso la democrazia è nata in Grecia, patria della geometria e della scienza.

L'abitudine a valutare e criticare i risultati è essenziale: la mentalità scientifica non è un prodotto naturale dell' evoluzione, ma va coltivata costantemente. Non c'è altro modo per rimanere cittadini informati e consapevoli.

Considerare la storia dei vecchi calcolatori un supporto alla democrazia può sembrare eccessivo, ma apprenderne l'uso può aiutarci a sviluppare le capacità critiche. Non è certo difficile, un tempo erano noti proprio a tutti.

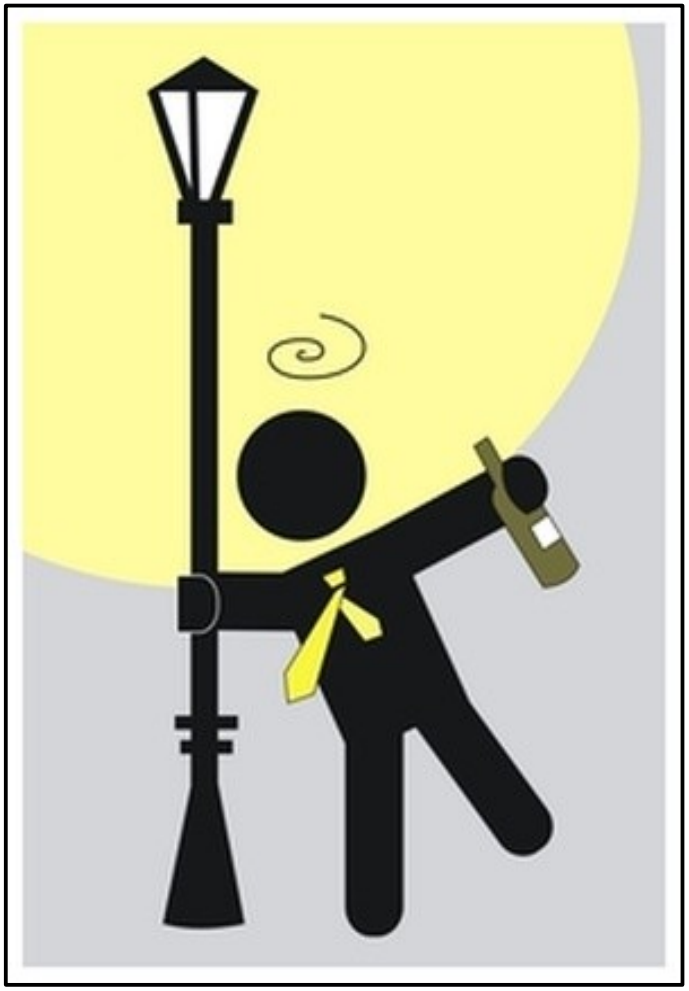
Bisogna mantenere la memoria del passato, domani troveremo nei musei anche i nostri computer moderni!



V – Conclusioni

Ricordiamoci di quanti contribuirono a creare il mondo moderno sfruttando la tecnologia, non appoggiandosi ad essa.

Spesso infatti la utilizziamo come l'alcolista fa con il lampione: per sorreggerci e non vedere meglio.



La storia completa del calcolo è scaricabile gratuitamente dal mio sito