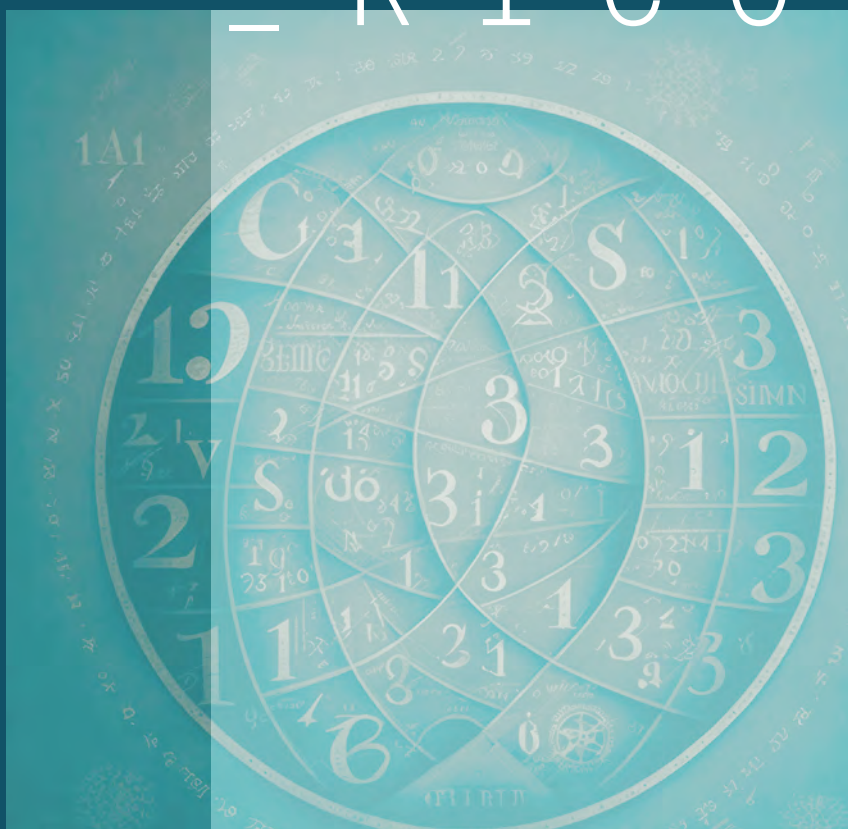


L'ORIGINE DEL PENSIERO NUMERICO

IL VIAGGIO DELL'UOMO
ATTRAVERSO
GLI STRUMENTI DA CALCOLO

A CURA DI FABIO MARTINI





**COLLANA DEL MUSEO
E ISTITUTO FIORENTINO
DI PREISTORIA**

1-Grotta del Romito

a cura di Fabio Martini, 2002

2-Gli artisti della Preistoria.

Segni e figurazioni nell'arte

di Alexia Frediani, 2006

**3-Su Coloru. Un museo ambientale,
naturalistico e archeologico**

di Pino Fenu, 2008

4-Grotta del Romito a Papisidero.

Uomo, ambiente e culture nel

Paleolitico della Calabria.

Ricerche 1961-2011

a cura di Fabio Martini, Domenico

Lo Vetro, 2011

**5-Cilento le origini. Preistoria, arte
e vita dei popoli cacciatori-raccoglitori**

di Fabio Martini, 2015

6-Museo Fiorentino di Preistoria.

Collezioni, testi e documenti del

percorso espositivo

di Fabio Martini, 2017

Per informazioni e acquisti:
info@museoflorentinopreistoria.it
[amministrazione@
museoflorentinopreistoria.it](mailto:amministrazione@museoflorentinopreistoria.it)

www.museoflorentinopreistoria.it

L'origine del pensiero numerico.
Il viaggio dell'Uomo
attraverso gli strumenti da calcolo

a cura di
Fabio Martini



Museo e Istituto fiorentino di Preistoria
2023



L'origine del pensiero numerico. Il viaggio dell'Uomo attraverso gli strumenti da calcolo, a cura di Fabio Martini

Publicato con il contributo di:
Regione Toscana
Ministero della Cultura

Con la partecipazione di:
Pianeta Galileo – Consiglio regionale della Toscana”



In collaborazione con:
Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo (SAGAS),
Università di Firenze



Dipartimento di Scienze storiche e dei Beni culturali,
Università di Siena



Coordinamento e redazione: Fabio Martini
Collaborazioni al coordinamento: Riccardo Aliani, Massimo Belardi, Marco Fanciulli, Federico Gori, Leonardo Vettori

Segreteria: Maddalena Chelini
Impaginazione: Lucia Botarelli
Ottimizzazione delle immagini: Lapo Baglioni

Stampa: Pierrestampa, Roma

ISBN 979-12-80445-06-3



© Copyright 2023 Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria

Le immagini pubblicate sono di proprietà del Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria e del Museo del calcolatore. Ne sono vietate la riproduzione e la duplicazione con qualsiasi mezzo. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in qualsiasi forma sia meccanica che elettronica senza il permesso scritto degli Editori e degli Autori.

AUTORI

Riccardo Aliani, Museo del Calcolatore

Stefano Anastasio, Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Firenze e le province di Pistoia e Prato

Massimo Belardi, Museo del Calcolatore

Stefano Campi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Applicazioni del Calcolo “Mauro Picone”, Unità di Firenze

Viola Castellani, collaboratrice del Museo e Istituto fiorentino di Preistoria

Marco Ciardi, Dipartimento di Lettere e Filosofia, Università di Firenze

Niccolò Covoni, Università di Firenze

Marco Fanciulli, Museo del Calcolatore

Federico Gori, Museo del Calcolatore

Fabio Macciardi, California University of Science and Medicine (CUSM), Colton, CA (USA)

Fabio Martini, Museo e Istituto fiorentino di Preistoria; Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo (SAGAS), Università di Firenze

Gloria Rosati, Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo (SAGAS), Università di Firenze

Lucia Sarti, Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali, Università di Siena

Giulia Torri, Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo (SAGAS), Università di Firenze

Leonardo Vettori, Museo del Calcolatore

INDICE

Alle origini del pensiero numerico: il perché di una mostra	p. 7
<i>Fabio Martini</i>	
Il Museo del Calcolatore in mostra	p. 9
<i>Riccardo Aliani, Massimo Belardi, Marco Fanciulli, Federico Gori, Leonardo Vettori</i>	
Il viaggio dell'Uomo attraverso gli strumenti da calcolo	p. 11
Catalogo	p. 11
<i>Riccardo Aliani, Massimo Belardi, Marco Fanciulli, Federico Gori, Leonardo Vettori</i>	
L'origine del pensiero numerico	p. 57
Uno, molti, quanti? Alla scoperta del pensiero numerico nella preistoria.....	p. 59
<i>Viola Castellani, Fabio Macciardi, Fabio Martini</i>	
Numeri e matematica in Egitto	p. 79
<i>Gloria Rosati</i>	
Quantificare, contare, calcolare in Mesopotamia prima dell'invenzione della scrittura.....	p. 87
<i>Stefano Anastasio</i>	
Matematica e geometria nell'Asia occidentale antica	p. 95
<i>Giulia Torri</i>	
L'enigma delle "Tavolette enigmatiche"	p. 103
<i>Lucia Sarti</i>	
Viaggiare nel tempo con gli strumenti in mostra	p. 113
<i>Stefano Campi</i>	
Dalla mano per calcolare ai calcolatori per la mano	p. 121
<i>Marco Ciardi, Niccolò Covoni</i>	
Tavole.....	p. 127

ALLE ORIGINI DEL PENSIERO NUMERICO: IL PERCHÉ DI UNA MOSTRA

Che rapporto esiste tra la preistoria e i dispositivi elettronici?

Provo a rispondere introducendo questa presentazione con una citazione: “Imparare a fare matematica è imparare a usare il proprio corpo, è come imparare a camminare, nuotare, ballare o andare in bicicletta. Queste abilità non sono innate, ma noi tutti abbiamo la capacità di apprenderle”. Per presentare questo volumetto che si accompagna alla mostra organizzata dal Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria insieme al Museo del calcolatore di Prato, mi piace utilizzare questa citazione di David Bessis, un matematico che opera nell’imprenditoria dell’intelligenza artificiale, autore di un recente testo (Mathematica. Un’avventura alla ricerca di noi stessi, Neri Pozza, 2023, pp. 352). Uno dei tanti stimoli offerti da Bessis risiede nella sua visione dell’utilità del fare di conto, dei processi matematici, della geometria, un insieme di prassi mentali che stimolano l’immaginazione dell’Uomo. Sono stimoli percepiti -come dimostra la documentazione archeologica- dall’Uomo di Neanderthal, dai suoi cugini paleolitici più recenti della specie Homo sapiens, alla quale l’umanità attuale appartiene, stimoli che hanno trovato ampio campo nella civiltà egizia e nelle culture del Vicino Oriente antico; nella cultura europea il grande salto cognitivo nel pensiero numerico avviene coi pensatori greci, in seguito a partire da Galileo il sapere, che tiene come faro l’ambiente naturale, diviene sempre più matematico. Sull’impianto rivoluzionario di Galileo si innesta il parametro della Cultura, intesa come mondo del pensiero che si sviluppa su modelli numerici. Che rapporto esiste, quindi, tra la preistoria e i dispositivi elettronici?

La risposta sta nel fatto che l’Uomo di oggi, o dei secoli passati, vale a dire gli scienziati, i matematici, i fisici, ma anche le persone comuni, sin dalla più tenera età pensano e operano grazie alla capacità innata di astrazione. Si tratta di una capacità che è peculiare del genere Homo, comparso in Africa circa 2 milioni e mezzo di anni fa, un genere che in verità è un insieme di rami evolutivi, un fitto cespuglio come già aveva scritto Charles Darwin, una sorta di corallo i cui rami progressivamente muoiono per lasciare posto solo ai rami più giovani. Homo habilis, il primo tronchetto del cespuglio, ha il primato di avere modificato la materia, di aver usato una roccia, un ramo, un osso impiegandoli non come li trovava in natura ma manipolandoli sino ad ottenere la forma desiderata, quella più utile per la caccia, per macellare le prede, per rompere le ossa al fine di estrarre il midollo, per raschiare le pelli e per tutte le necessità quotidiane. Modificare un legno o una pietra per fabbricare uno strumento significa pre-vedere (ecco l’astrazione!) quale sarà il risultato finale, significa quindi elaborare una sequenza di gesti (ecco la tecnica!) che porterà alla fabbricazione di un manufatto che in origine è reale (pre-vista) solo nella mente dell’esecutore. I saperi acquisiti da

H. habilis si sono tramessi alle specie successive nel lungo arco di millenni, di generazione in generazione: solo i saperi utili alla sopravvivenza sono entrati nel bagaglio culturale dell'Uomo, in quanto da sempre è la selezione tra ciò che serve e ciò che non serve che guida il nostro comportamento.

La capacità di astrazione, quindi, è la risposta alla domanda iniziale. È una dote che utilizziamo non solo nei procedimenti matematici in senso stretto, ma nelle pratiche utilitaristiche quotidiane, nell'arte, nella musica, nella danza, nell'architettura, nel gioco, nei rapporti affettivi interpersonali, in sintesi nella vita. La capacità di astrazione ci conduce e ci apre nuove strade, ci porta a fare nuove esperienze, ad implementare i saperi, ad escogitare rimedi e strategie per "vivere meglio". L'astrazione, che ci consente di sviluppare le capacità di intuizione, di superare steccati e di inventare, dovrebbe correre in parallelo con la logica, in un sistema binario che le vede complementari.

Per queste ragioni, qui sintetizzate, nelle vetrine del percorso espositivo accanto a strumenti paleolitici, a vasi neolitici, a strumenti in metallo e a prodotti artistici che risalgono dal Paleolitico all'età del Bronzo, il visitatore troverà l'abaco etrusco, l'abaco romano, i bastoncini de Nepero, il cifrario a regolo, l'Apollo Guidance Computer, le prime calcolatrici ed esemplari dei primi PC, sino al Commodore 64 e al Nintendo NES, in breve strumenti che risalgono quasi alla preistoria dei calcolatori.

A supporto dell'esposizione, il cui catalogo apre questa Guida, abbiamo voluto fornire alcuni testi con i quali gli Autori descrivono i tratti principali dei più antichi pensieri numerici, nella Preistoria (Viola Castellani, Fabio Macchiardi, Fabio Martini, Lucia Sarti), nella cultura egizia (Gloria Rosati), in alcune espressioni del Vicino Oriente antico (Giulia Torri, Stefano Anastasio), sino alle riflessioni di un matematico (Stefano Campi) e di due storici della scienza (Marco Ciardi, Niccolò Covoni).

Nel ringraziare quanti hanno partecipato a questo progetto che è rivolto al grande pubblico e in particolare alla popolazione scolastica, voglio rincuorare e rassicurare i più giovani visitatori: non chiederemo le tabelline!!

Firenze, marzo 2023

Fabio Martini

IL MUSEO DEL CALCOLATORE IN MOSTRA

Quando ci è stato proposto di esporre alcuni degli oggetti del nostro Museo del Calcolatore al Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria dobbiamo ammettere che siamo rimasti stupiti, anche se lusingati dall'offerta. Nelle visite guidate al nostro Museo del Calcolatore siamo soliti citare che già l'uomo primitivo fosse attratto dall'utilità del fare di conto, dai processi matematici, dalla geometria. Ma come coniugare i nostri oggetti, legati alla storia recente (il più antico è l'abaco), con preziosi ritrovamenti preistorici? La soluzione è consistita nel dimostrare come, anche nella capacità dell'uomo moderno di astrarre e realizzare nuovi macchinari, ci siano state delle "fasi" simili a quelle preistoriche. Così come la capacità di manipolare gli oggetti per fabbricare utensili è stato uno dei passaggi vitali nella storia dell'uomo, altrettanto lo sono state la scoperta dei logaritmi e, più recentemente, l'invenzione del transistor e dei suoi derivati, come il microprocessore. Il visitatore, quindi, troverà oggetti che abbiamo classificato come "prima della seconda guerra mondiale", dominati da pratiche manuali e congegni meccanici dei quali stiamo perdendo memoria (da qui la funzione del nostro Museo...); poi la sezione "alla conquista della luna", nella quale la tecnologia di calcolo compie un brusco salto nell'elettronica, per finire poi col settore "verso l'intelligenza artificiale", che vede una diffusione pervasiva dei computer che ambiscono ad avere una propria "coscienza". Come per la preistoria, nella quale le invenzioni dell'uomo primitivo hanno accelerato enormemente il processo evolutivo, anche nella storia del calcolo le fasi appena descritte hanno avuto durate ben diverse: la prima sezione del calcolo è spalmata su qualche migliaia di anni, la seconda e la terza si sono rincorse nel giro di pochi decenni. A fianco di ogni oggetto esposto è affissa l'indicazione dell'anno in cui è stato realizzato, il codice QR che rimanda per approfondimenti alla pagina web del nostro Museo ed un indicatore di potenza di calcolo: supponendo di partire dalle mani che ci offrono potenza 1 come ausilio al conteggio ed al calcolo, si passa dal regolo calcolatore che, grazie ai logaritmi, amplifica la potenza ad oltre 2.000, fino ad arrivare alla calcolatrice tascabile elettronica che, grazie ai transistor, sviluppa una potenza di ben 20.000.

Un doveroso ringraziamento va al prof. Fabio Martini per averci accolti nel Museo fiorentino di Preistoria.

Vi invitiamo a visitare il Museo del Calcolatore a Prato, che è aperto nelle date indicate sul sito web www.museodelcalcolatore.it, per prenotazione di gruppi: museodelcalcolatore@gmail.com.

I soci del Museo del Calcolatore:

Riccardo Aliani, Massimo Belardi, Marco Fanciulli, Federico Gori, Leonardo Vettori

IL VIAGGIO DELL'UOMO ATTRAVERSO GLI STRUMENTI DA CALCOLO



DAGLI INIZI
FINO ALLA SECONDA
GUERRA MONDIALE



DALLA SECONDA
GUERRA MONDIALE
ALLA LUNA



DALLA LUNA
ALL'INTELLIGENZA
ARTIFICIALE

IL VIAGGIO DELL'UOMO ATTRAVERSO GLI STRUMENTI DA CALCOLO

CATALOGO

*Riccardo Aliani, Massimo Belardi, Marco Fanciulli,
Federico Gori, Leonardo Vettori*

Gli strumenti esposti, qui di seguito illustrati, compongono un viaggio attraverso la storia del calcolo e delle sue evoluzioni. Un viaggio, che potremmo confidenzialmente chiamare *Cyberneticus*, che comprende tre percorsi:

- dalle origini sino alla Seconda guerra mondiale,
- dalla Seconda guerra mondiale alla Luna,
- dalla Luna all'Intelligenza Artificiale.

In essi sono presenti gli strumenti utilizzati per effettuare calcoli matematici nel corso dei secoli, dai primi strumenti manuali più antichi, come l'abaco, ai numeri romani, fino ad arrivare ai computer moderni, passando per le addizionatrici meccaniche e le calcolatrici elettroniche.

Si possono osservare i cambiamenti dei calcolatori, dai primi -meccanici ed elettronici-fino ai computer basati sui circuiti integrati ed i microprocessori.

Vengono anche presentati i primi strumenti di digitalizzazione, dalla voce umana al gioco digitale introdotto dagli home computer e le console.

L'obiettivo è illustrare come gli strumenti da calcolo si siano evoluti nel corso dei secoli e come abbiano influito sulla vita quotidiana delle persone.

Il catalogo dei 22 strumenti esposti comprende una scheda del prodotto, nella quale sono indicati l'ideatore e il costruttore (quando documentato), la categoria dell'oggetto, il luogo di origine e il periodo o l'anno di produzione (quando documentati); seguono nella medesima scheda l'anno di ingresso e di catalogazione dello strumento presso il Museo del calcolatore, l'indicazione di chi ha prodotto o donato al Museo medesimo l'oggetto presente nella mostra e infine alcuni dati tecnici per alcuni strumenti. Seguono una sintetica descrizione dello strumento e alcune notizie di completamento.

01

DALLE ORIGINI
ALLA SECONDA GUERRA MONDIALE

Le mani



'Uno, due, tre, quattro, cinque, sei, sette, otto, nove e DIECI!'
Le dita umane sono il primo calcolatore dell'umanità,
sempre a portata... di mano!...



Scheda del prodotto

Costruttore: -

Categoria: strumento di conteggio

Luogo d'origine: -

Anno di produzione: -

Catalogato nel 2021 (donato da Mario Bettocchi)

Descrizione

Le mani rappresentano il primo strumento di calcolo utilizzato dall'uomo, uno strumento sempre a disposizione! Usando le dita si possono realizzare molte figure per rappresentare numeri; in particolare Paolo Dagomari, nel Medioevo, chiamava le cifre "figure", così come ancor oggi nella lingua inglese. Quasi tutte le civiltà del passato per contare hanno usato due mani, una mano, dieci dita e, a volte, le tre falangi di ogni dito.

Civiltà lontane, anche non in contatto tra loro, dai cinesi ai nativi d'America, hanno utilizzato sistemi di numerazione concettualmente uguali a quello romano, con simboli corrispondenti ai segni: I, V, X, cioè un dito, una mano, due mani. Nella rappresentazione unaria ogni dito alzato corrisponde, a prescindere dalla sua posizione, ad un oggetto.

Se si attribuisce invece alla posizione occupata dalle dita alzate un valore diverso, si può ottenere una rappresentazione a base binaria dei numeri. Quest'ultimo modo di intendere il valore di ciascun dito, 1 quando è alzato e 0 quando è abbassato, corrisponde alla moderna concezione di *binary digit* (bit).

Le dita delle mani sono alla base anche delle nostre parole "digitale" e "dieci". Infine, grazie al fatto che con il pollice della mano si possono indicare le tre falangi di ciascuna delle altre quattro dita ($3 \times 4 = 12$), alcune civiltà hanno utilizzato questa ulteriore possibilità per sistemi di numerazione in base 12.

In tutto il Mediterraneo nell'antichità si sono escogitati sistemi per rappresentare con le mani numeri anche più grandi, addirittura per effettuare moltiplicazioni.

L'abaco etrusco



... finché alle mani non si affiancò una tavoletta,
con facce incerate ed un pennino,
con cui scrivere i numeri da memorizzare o da calcolare...



Scheda del prodotto

Costruttore: -

Categoria: abaco

Luogo d'origine: Etruria, Italia

Anno di produzione: 500 a.C.

Catalogato nel 2021 (donato da Mario Bettocchi)

Descrizione

Gli Etruschi chiamavano questo strumento "apac" e il suo utilizzatore "apcar".

Considerando che nella lingua etrusca la lettera "B" era sostituita dalla "P" non è difficile derivare il termine "abaco".

Oggi due tavolette cerate legate insieme vengono tuttavia chiamate "dittico".

Diverse urne etrusche sono sormontate da sculture di un uomo o di una donna che tengono in mano un *apac*, questo fa capire l'importanza attribuita a tale strumento.

È emblematica la raffigurazione su un cammeo etrusco conservato presso la Biblioteca Nazionale di Parigi: un uomo che trascrive il contenuto di un *apac*, con la scritta etrusca "apcar", ovvero "abachista".

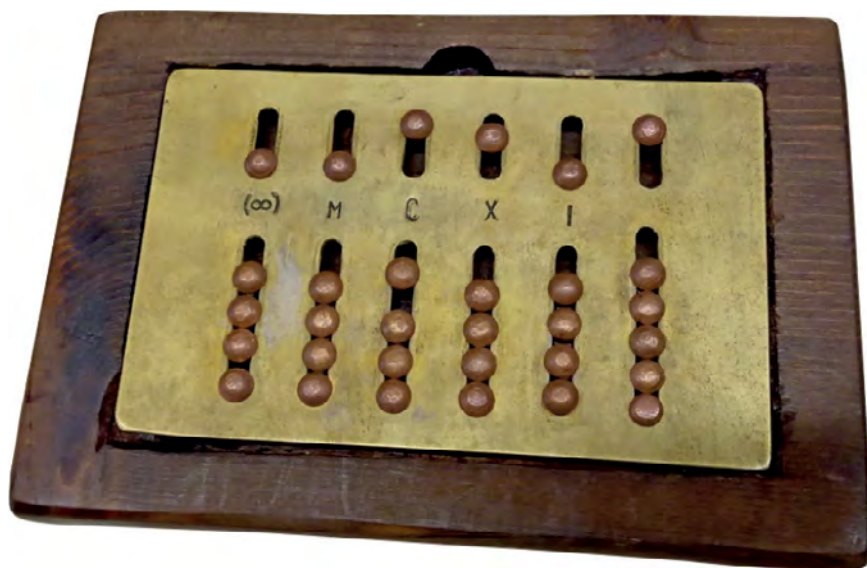
Le tavolette cerate venivano utilizzate per rappresentare lettere, numeri e disegni. In definitiva era un mezzo per memorizzare o comunicare informazioni, un vero e proprio *tablet* ante litteram.

L'oggetto in esposizione è una fedele riproduzione fatta da un membro del Museo del calcolatore.

L'abaco romano



...e quando pennino e cera non bastarono, si passò ad una tavoletta, con *calculum* (ovvero sassolini); così si poteva 'calcolare'. Un sassolino verso l'alto per sommare, un sassolino verso il basso per sottrarre...



Scheda del prodotto

Costruttore: -

Categoria: abaco

Luogo d'origine: Italia

Anno di produzione: 100 a.C. circa

Catalogato nel 2021 (donato da Mario Bettocchi)

Descrizione

Questa è una riproduzione dell'abaco tascabile romano, spesso realizzato anche in bronzo, rame o avorio. La sua forma rende evidente il possibile uso in base dieci anche dei numeri romani. Così è infatti da intendere il valore indicato in ciascuna colonna; la colonna sulla destra rappresenta la parte non decimale delle monete di conto. Gli zeri significativi venivano rappresentati lasciando la colonna con le sferette nella posizione iniziale. La sferetta superiore, se spostata, vale cinque, mentre ciascuna sferetta inferiore vale uno quando è spostata dalla sua posizione iniziale.

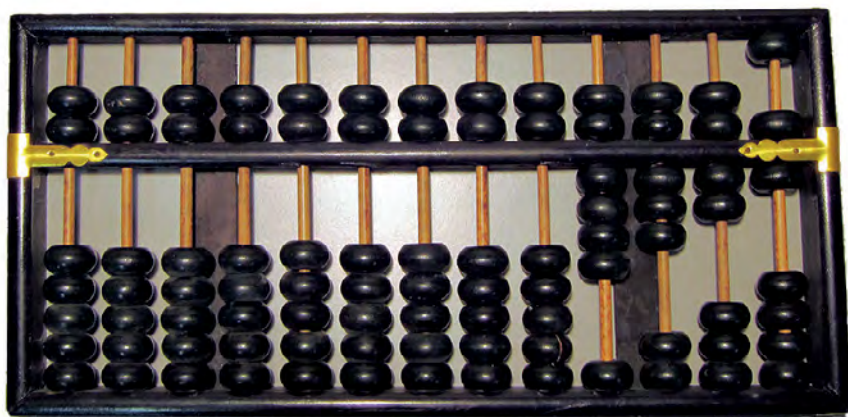
L'abaco romano risulta simile, per forma ed utilizzo, al *soroban* giapponese. Se ne parla spesso nella letteratura classica e viene descritto come uno strumento semplice e rapido utilizzato anche nelle scuole.

L'oggetto in esposizione è una fedele riproduzione fatta da un membro del Museo del calcolatore.

Lotus-Flower Brand Suanpan



... intanto in Oriente vengono inserite delle 'biglie'
in bacchette orizzontali, al posto dei sassolini.
Non cambia l'utilizzo, migliora l'esperienza.
Se hai destrezza, puoi calcolare velocissimamente...



Scheda del prodotto

Costruttore: Lotus-Flower Brand

Categoria: Abaco

Luogo d'origine: Cina

Anno di produzione: 1960

Catalogato nel 2012 (per gentile concessione di Riccardo Aliani)

Descrizione

Le origini dell'abaco si perdono nel tempo. Probabilmente nasce come evoluzione dell'antichissimo sistema di tracciare in terra delle linee e disporvi sopra delle pietre; lo ritroviamo in tutte le civiltà ed in tutti i continenti, in diverse forme, usati e scomparsi in periodi differenti. Le prime tracce risalgono probabilmente agli antichi Babilonesi, ed era ampiamente usato in Grecia già dal VI secolo a.C.: Demostene (384- 322 a.C.) scriveva della necessità di "usare pietre nei calcoli" quando questi si facevano complicati. Nei paesi orientali, dove ancora oggi sopravvive, la sua diffusione è databile tra il 1200 e il 1600; ci sono testimonianze che fosse usato anche dalla civiltà Inca e dai pellerossa americani.

L'abaco, il cui nome deriva probabilmente dalla parola fenicia "abak" = tavola, originariamente consisteva in un riquadro di legno o di pietra sul quale erano incise (o disegnate col gesso) alcune linee orizzontali, sulle quali venivano disposti i sassolini (in latino *calculus*) che rappresentavano i numeri; divenne uno strumento trasportabile (nella forma che tutti conosciamo) solo grazie ai giapponesi (*soroban*) ed ai Cinesi (*suàn pán*); ai giapponesi si deve, tra l'altro, l'introduzione della divisione orizzontale dell'abaco in due zone, per facilitare l'esecuzione delle operazioni aritmetiche.

Reliable Typewriter and Adding Machine co. Addometer Mod.A

At Last!

THE ADDING MACHINE

You've Been Waiting For!

...and it's only **\$10.00** Complete

Illustrating the new ADDOMETER
4.5 Added Four (111's to 99 9's to 9's to 9's)

Never
Anything
Like
It!

Does All
the Work
of a
\$300
Machine!

NEW...PORTABLE..
Worth 20 times its low \$10
cost to everyone who uses figures!

...nel 1600, nuove idee e nuove soluzioni.

La 'Pascalina' di Blaise Pascal, con ruote dentate basate sul principio dell'orologio. Il giro completo di una ruota fa scattare di un'unità la ruota accanto (riporto).

Su quel principio furono costruiti strumenti come questo fino al 1960...



Scheda del prodotto

Costruttore: Reliable Typewriter and Adding Machine co.

Categoria: addizionatrice

Luogo d'origine: Chicago, USA

Anno di produzione: 1950

Catalogato nel 2016

Descrizione

L'Addometer è uno strumento che per modalità di utilizzo e per aspetto è molto simile alla storica "pascalina" di Blaise Pascal, inventata nel 1642. La produzione di questo apparecchio iniziò nel 1927 e terminò verso il 1960. Attraverso uno stilo, permette di eseguire facilmente addizioni, mentre le sottrazioni devono essere impostate col metodo dei complementi: basta convertire ciascun numero nella cifra che manca per arrivare a 9, e sommarla normalmente. Per questo motivo, in corrispondenza di ciascuna cifra, è presente una cifra più piccola che rappresenta il complemento a 9 (es. per 8 è 1, per 5 è 4, ecc.)

Questo apparecchio negli Stati Uniti ebbe un'enorme diffusione, mentre in Europa venivano preferite le addizionatrici a cremagliera, più pratiche da trasportare.

Questi economici strumenti soffrono di un difetto comune: non riescono ad eseguire il riporto contemporaneo di più di 3 cifre (es. 999+1), a causa degli attriti nel meccanismo metallico.

Bastoncini di Nepero



...sommare e sottrarre può non bastare.
Con i bastoncini inventati da Nepero moltiplicare e dividere diventa semplice e portatile, ma c'è bisogno di un foglio e di una penna.



Scheda del prodotto

Costruttore: -

Categoria: Ausili per il calcolo

Luogo d'origine: Edimburgo, Scozia

Anno di produzione: 1617

Catalogato nel 2017 (donato da Riccardo Aliani)

Descrizione

Oltre che per l'invenzione dei logaritmi, Nepero è famoso per questo strumento portatile, formato da 10 asticelle (originariamente d'avorio) su cui sono incisi i primi 10 numeri ed i relativi multipli.

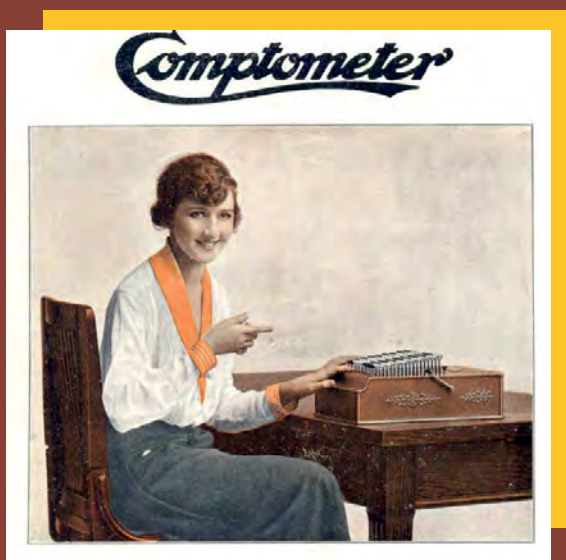
Il suo uso, relativamente semplice, riduce moltiplicazioni e divisioni a semplici somme e sottrazioni, ma necessita comunque di un intervento umano per ottenere dei risultati.

Il principio su cui si basa era già stato introdotto nei paesi mediterranei col nome di "moltiplicazione araba" o "gelosia" a partire dal Medioevo.

La riproduzione in esposizione è fedele all'originale del 1617: Nepero generò la giusta sequenza di valori che permettesse, con il minor numero possibile di asticelle, di effettuare calcoli con numeri che si ripetessero anche 4 volte (es. 1111).

Per realizzare questo strumento sono stati utilizzati una stampante 3D (scatola), legno (ossatura dei bastoncini) e una stampante laser (carta apposta sui lati dei bastoncini).

Comptometer mod. F



...rivoluzione industriale, evoluzione tecnologica.
I tasti semplificano l'inserimento dei dati, la somma è diretta
e comodissima, ma per sottrarre bisogna leggere bene
le istruzioni d'uso...



Scheda del prodotto

Costruttore: Felt & Tarrant

Categoria: Calcolatrice meccanica a tastiera estesa

Luogo d'origine: Chicago, U.S.A.

Anno di produzione: 1915

Catalogato nel 2016 (in ricordo di Giovanni Sacchetto, collezionista padovano, dono dei figli)

Descrizione

Le origini di questo apparecchio risalgono al 1885, anno in cui l'inventore Dorr Eugene Felt terminò il primo esemplare di questa calcolatrice: il prototipo era ospitato all'interno di una scatola di legno per la pasta, da cui il nome "macaroni box".

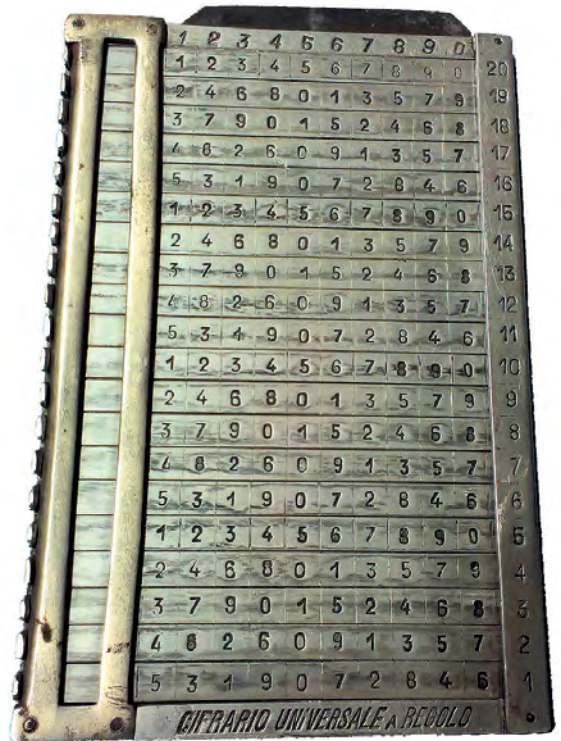
Questo esemplare di calcolatrice manuale a tastiera estesa, denominata "modello F" ed apparsa nel 1915, fu il primo ad essere prodotto in serie, abbandonando metodi d'assemblaggio più artigianali. Il sistema a "tasto controllato", introdotto col precedente modello E per correggere pressioni incomplete dei tasti, viene qui perfezionato con successo. Questo strumento esegue somme dirette ma richiede all'operatore l'uso del complemento a 9 per eseguire le sottrazioni.

Il modello F rimase in produzione per circa 5 anni, fino al 1920, per un totale di circa 40.000 macchine prodotte. La produzione del Comptometer continuò invece fino al 1970, con l'introduzione di versioni migliorate e con maggiori funzionalità.

Cifrario Universale a Regolo



...calcolare anche per rendere segreti i messaggi inviati,
esigenza sentita fin dai tempi degli antichi romani.
I cifrari sono strumenti meccanici, utili sul campo di battaglia.
no i primi computer per garantire un minimo di segretezza...



Scheda del prodotto

Costruttore: C.U.A.R.
 Categoria: Cifrario
 Luogo d'origine: Roma, Italia
 Anno di produzione: 1919
 Catalogato nel 2015

Descrizione

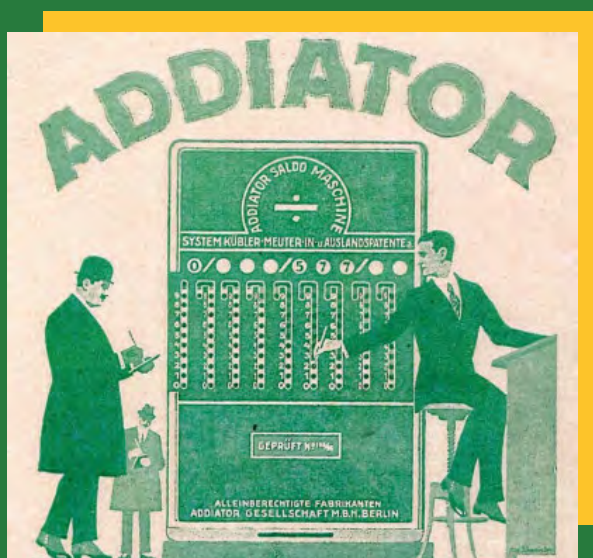
Strumento antico e misterioso, fu inventato dal Maggiore Nicoletti cav. Luigi, un militare. Si immagina, quindi, che potesse servire per garantire la segretezza nella trasmissione di documenti riservati nel regio esercito, problema mai risolto efficacemente e documentato fin dai tempi delle legioni romane.

Fu brevettato nel 1919 (prima in Inghilterra e successivamente in Francia, Svizzera, Danimarca, Germania e USA); la Società anonima CUAR (acronimo di Cifrario Universale A Regolo), con sede in Roma e produttrice dell'apparecchio, esisteva ancora nel 1925 (da evidenze della Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia).

Fu edito anche un libro che ne spiegava i vantaggi e le modalità d'uso e si immagina, quindi, che il cifrario dovesse essere piuttosto diffuso in ambito militare.

Grazie all'aiuto di Andrea Celli, abbiamo rintracciato il brevetto originale inglese del 1919 (n° 125032).

Addiator Maximator



... verso la conquista della Luna, la tecnologia si raffina.
Le quattro operazioni fondamentali si dividono in più
strumenti separati, ottimizzando tempi e velocità di calcolo.
In stile portatile, pennino incluso...



Scheda del prodotto

Costruttore: Addiator

Categoria: Calcolatrice meccanica a cremagliera

Luogo d'origine: Berlino, Germania

Anno di produzione: 1950

Catalogato nel 2020 (dono della famiglia Grotto di Piovene Rocchette, Vicenza)

Descrizione

Prodotta dal 1950 al 1962, questa calcolatrice a cremagliera, azionabile attraverso uno speciale stilo, è composta da due apparecchi distinti, montati su un solido supporto in fusione di metallo.

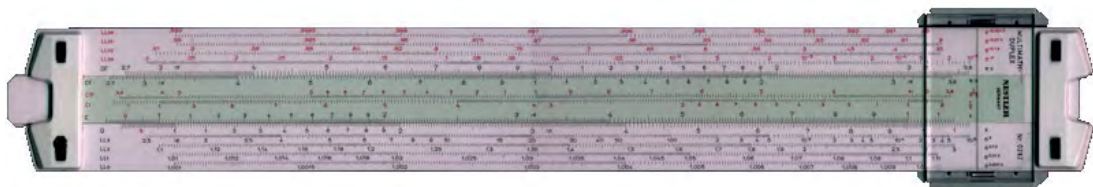
Sulla parte frontale del primo è possibile inserire valori positivi, sul retro si possono impostare le sottrazioni lavorando sullo stesso totale.

Un secondo apparecchio, sotto al primo, consente di aggiungere risultati intermedi (il nome stampigliato *Speicherwerk* (magazzino) identifica la sua capacità d'immagazzinare valori parziali).

Regolo calcolatore Nestler



...durante il volo dell'Apollo 13, i regoli calcolatori furono essenziali per permettere il rientro della missione. Ed erano strumenti già in uso dal 1600, in diverse forme: lineari come questo oppure...



Scheda del prodotto

Costruttore: Nestler
Categoria: regolo calcolatore
Luogo d'origine: Lahr (Germania)
Anno produzione: 1967
Catalogato nel 2015

Descrizione

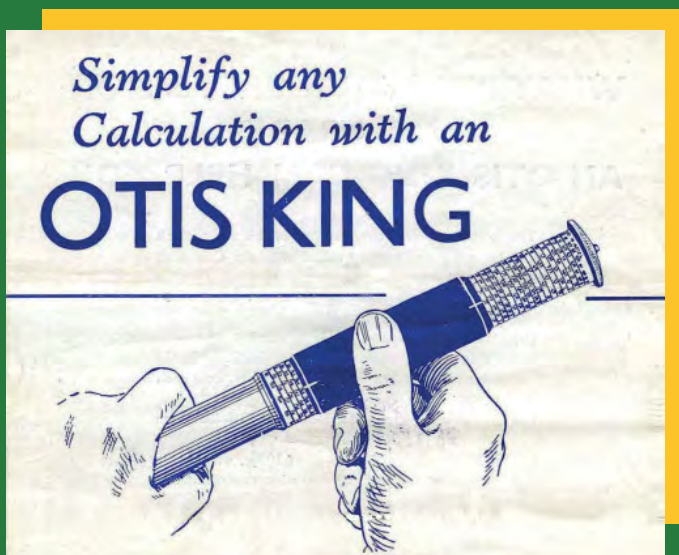
Inventato nel 1600, il regolo calcolatore è uno strumento di calcolo portatile rimasto in uso fino alla nascita delle calcolatrici elettroniche tascabili, intorno al 1975. La tedesca Nestler, fondata nel 1878, era famosa per la qualità e la precisione dei suoi strumenti, usati da personaggi come Werner von Braun ed Albert Einstein. Il modello esposto, in robusto materiale plastico e custodia in pelle, è una versione media dei regoli professionali, in taluni casi lunghi anche più di un metro; grazie alla sua misura di 35cm, ha un'ottima capacità di calcolo numerico.

Questo strumento è un calcolatore analogico, la correttezza dei calcoli dipende molto dalla precisione con cui l'utilizzatore imposta i dati e ne rilegge i risultati. Più è grande il regolo maggior dettaglio avranno le scale numeriche stampate, quindi maggior precisione avranno i risultati forniti dal regolo stesso.

Il regolo calcolatore sfrutta le proprietà dei logaritmi, riconducendo operazioni più complesse (prodotti, quozienti, esponenziali) ad operazioni più semplici sui logaritmi dei rispettivi operandi. Ad esempio, per moltiplicare due numeri si procede con la somma dei loro logaritmi.

Sui regoli calcolatori sono stampate diverse scale; alcune di queste si trovano su tutti i regoli, altre solo su regoli destinati ad utilizzi particolari (aeronautica, ingegneria, ecc.). Le scale dei numeri non indicano dei valori in senso assoluto, ma soltanto le cifre significative della notazione scientifica. Sta all'utente interpretare ogni numero aggiungendo il corretto ordine di grandezza: in altri termini, la tacca 1.2 sulla scala dei numeri può indicare numeri come 12 o 120, oppure 0,12 e 0,012.

Regolo calcolatore Otis King's



...oppure regoli di forma cilindrica, con lunghe spirali di numeri scritti a mano che sarebbero l'equivalente di un regolo calcolatore lineare, ma molto molto più lungo...



Scheda del prodotto

Costruttore: Carbic Limited

Categoria: Regolo calcolatore

Luogo d'origine: Londra, Inghilterra

Anno di produzione: 1949

Catalogato nel 2020 (per gentile concessione di Massimo Belardi)

Descrizione

Otis King era un droghiere londinese che, per semplificare i suoi affari, aveva inventato e prodotto l'omonimo regolo calcolatore cilindrico, basato su una scala logaritmica elicoidale lunga 66", teoricamente più preciso di una cifra rispetto ai classici regoli calcolatori lineari tascabili da 5".

Il prodotto, inizialmente artigianale, iniziò nel 1922 ad essere prodotto in serie dalla Carbic Limited, con sede a Londra, la cui produzione terminò nel 1972.

Di bell'aspetto, ripiegabile, difetta però nella disposizione dei segni delle cifre, per cui spesso la maggior precisione rispetto ai regoli lineari si perde con errori di lettura. Non dobbiamo dimenticare che il regolo cilindrico può effettuare solo moltiplicazioni e divisioni, mentre un normale regolo ha scale multifunzione.

Meccanicamente è composto da una parte metallica da tenere in mano, una scala inferiore ed una superiore che ruotano indipendentemente, sulle quali scorre ruotando il cursore nero, che ha due indicatori.

Di questo strumento esisteva anche una versione con scale disegnate in bianco su fondo nero.

Olivetti Divisumma 24



...alla fine degli anni '40, Olivetti inizia a produrre addizionatrici e calcolatrici scriventi e diventa punto di riferimento del settore. La serie 24, come la precedente serie 14, propone elevatissime prestazioni meccaniche, compresa una memoria. L'errore umano si riduce...



Scheda del prodotto

Costruttore: Olivetti
Categoria: Calcolatrice elettromeccanica
Luogo d'origine: Ivrea, Italia
Anno di produzione: 1956
Catalogato nel 2011

Descrizione

Prodotta in varie versioni a partire dal 1956, la Divisumma 24 è una calcolatrice elettromeccanica che poteva svolgere tutte le operazioni di base, con stampante incorporata.

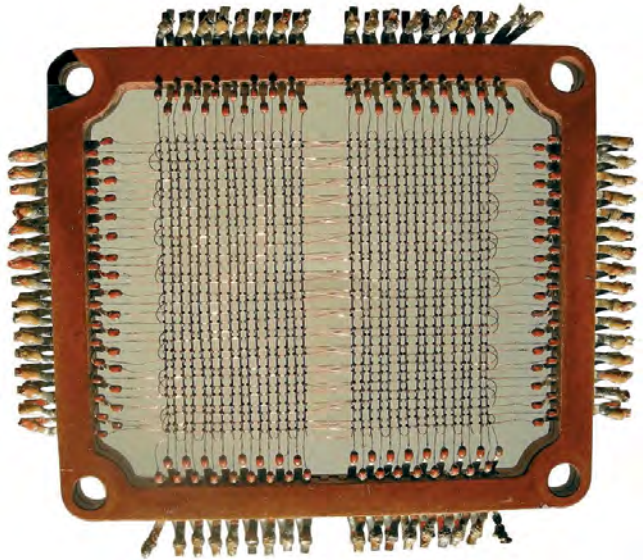
Questa macchina rappresentò per Olivetti l'apice del successo; nel 1967 fu prodotto il milionesimo esemplare. Vero gioiello di ingegno della meccanica di precisione, Olivetti conquistò con la 24 un'importante fetta di mercato a livello mondiale, consentendo di praticare prezzi altamente remunerativi: nel 1957, questa macchina era venduta a 325.000 lire, un prezzo molto alto se lo si confronta con le 465.000 lire necessarie per acquistare una FIAT 500 o con le 60.000 lire di uno stipendio medio di quegli anni.

L'Olivetti era in grado di rivendere queste macchine a dieci volte il costo di produzione; infatti, sebbene molto complesse da realizzare, l'abilità dell'Ingegnere Natale Capellaro, che la progettò, permise di semplificarne molto il processo produttivo ottenendo quindi una produzione a costi bassi. L'innovazione offerta con questo prodotto portava a grandissimi introiti pur rimanendo sul mercato molto concorrenziale. Paradossalmente, furono proprio questi elevatissimi utili economici a rallentare l'azienda di Ivrea nell'intraprendere la conversione dalla meccanica verso l'elettronica.

Memorie a nucleo di ferrite



...cresce la potenza di calcolo, crescono le informazioni da salvare. I supporti di memoria migliorano, anche se rimangono estremamente costosi e difficili da produrre. Nel blocco sovietico la tecnologia tende a rifarsi spesso agli schemi occidentali...



Scheda del prodotto

Costruttore: URSS
Categoria: Supercomputer
Luogo d'origine: Mosca, URSS
Anno di produzione: 1973
Catalogato nel 2019

Descrizione

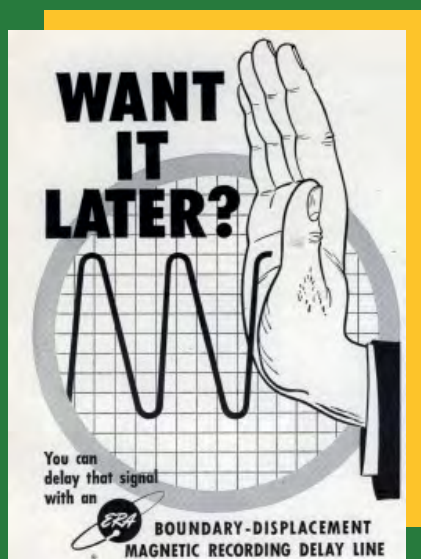
La preziosa scheda di RAM che possediamo apparteneva al supercomputer sovietico multiprocessore Elbrus-1, entrato in funzione nel 1973. Il suo scopo principale era l'utilizzo nel programma spaziale, nello sviluppo di armi nucleari e di sistemi di difesa, così come per scopi teorici e di sperimentazione in ambito informatico.

L'Elbrus-1 fu il primo grande computer sovietico ad utilizzare i circuiti integrati (ma non per la RAM, come vedremo). La sua potenza raggiungeva i 12 milioni di operazioni al secondo nella configurazione con dieci CPU.

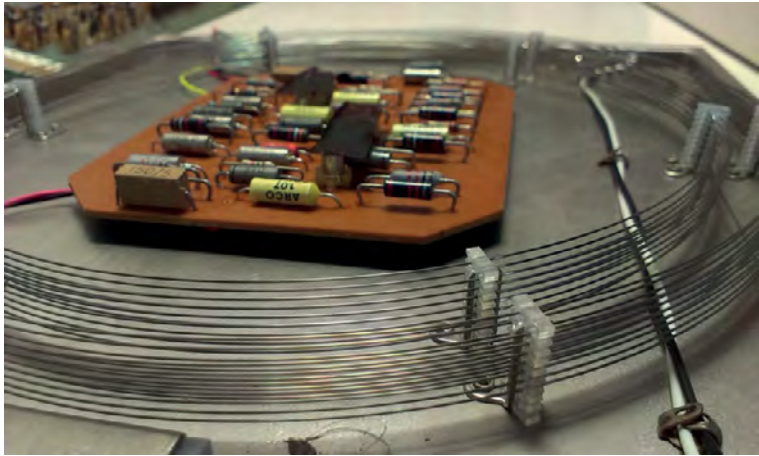
Purtroppo la scarsa qualità nella produzione di tecnologia avanzata dell'industria russa, unita ad una mancanza di coordinamento a livello governativo, offuscò questo interessante progetto. Furono prodotti pochissimi sistemi Elbrus-1: un sistema biprocessore impiegò anni per essere installato in Estonia e divenne affidabile ed operativo solo nel 1986. La famiglia dei computer Elbrus è tuttora in produzione in Russia.

La nostra scheda di RAM faceva parte di un blocco di memoria formato da 25 schede, con capacità di 25600 bit (circa 3 KB). Ogni singola scheda, formata da 1024 anellini di ferrite disposti su una matrice di fili 32 x 32, poteva contenere 128 byte di informazioni: più o meno il doppio della frase che state leggendo. Data la precisione richiesta, ogni singola scheda era "intessuta" a mano da giovani donne con vista molto acuta.

Memoria magneto- strittiva



...la memoria magnetostrittiva è basata su un filo di nickel su cui vengono fisicamente inviati treni di onde, poi riletti e reimmessi sul filo: onda presente corrisponde a 1, onda assente a 0. Più è lungo il filo, più sono le onde e maggiore è la quantità di memoria...



Scheda del prodotto

Costruttore: Olivetti
Categoria: Memorie
Luogo d'origine: Ivrea
Anno di produzione: 1971
Catalogato nel 2019

Descrizione

La memoria magnetostriativa, nota anche come memoria a filo o memoria a linea di ritardo, per memorizzare le informazioni, sfrutta il fenomeno della magnetostrizione su filo metallico, tipico del nichel e di altri materiali. Un campo magnetico applicato ad un metallo lo può deformare. Nel caso di un filo elastico, una deformazione in lunghezza o una torsione si propaga da un lato verso il lato opposto.

Per spiegare il funzionamento in termini semplici, immaginiamo di tirare una corda, ben tesa, applicandola a due cardini di legno od altro materiale rigido. Immaginiamo di colpire la corda tesa ad uno dei suoi estremi. Il colpo produce un'oscillazione che si propaga all'altro estremo. Se l'estremo opposto non assorbe l'energia in arrivo, l'oscillazione viene riflessa e torna all'inizio della corda.

La memoria a linea di ritardo sfrutta il principio esposto; se la sollecitazione è abbastanza breve, si possono ottenere più sollecitazioni in sequenza. La sollecitazione in un senso o in un altro si materializza in un bit memorizzato. Al lato opposto, con un sensore apposito, tipicamente una bobina, si può rilevare la sollecitazione, per cui accedere, in lettura sequenziale, alla memoria. Le sollecitazioni all'estremo finale possono essere reintrodotte sul filo, in loop, dopo una opportuna amplificazione, per mantenere in memoria il dato inserito per un tempo indeterminato.

AGC-Apollo Guidance Computer



...il progetto di inviare con successo esseri umani sulla Luna comportò l'esigenza di miniaturizzare i computer dell'epoca, per poterne ospitare uno all'interno della piccola astronave. Per raggiungere lo scopo, l'Apollo Guidance Computer fu il primo...



Scheda del prodotto

Costruttore: Raytheon

Categoria: computer di bordo per missioni spaziali

Luogo d'origine: Boston, MA (USA)

Anno di produzione: 1966

Dati tecnici: Dati tecnici: RAM di 2.048 parole di 16 bit a nuclei di ferrite, ROM di 36.864 parole da 16 bit su core rope, clock di 2,048 MHz, capacità di eseguire fino a 8 programmi in parallelo, unità centrale basata su micro-chip discreti

Descrizione

L'*Apollo Guidance Computer* (AGC) è stato il primo computer digitale di bordo progettato per la navigazione spaziale. Fu sviluppato appositamente per il programma spaziale Apollo per consentire agli astronauti il calcolo della posizione, della velocità e dell'orientamento della navicella spaziale nonché per eseguire le manovre nello spazio, incluse quelle orbitali, quelle di allunaggio e quelle di *rendez-vous* e rientro sulla Terra.

Il team di progettazione realizzò un'interfaccia d'uso molto semplice per gli standard dell'epoca. La sua filosofia si fondava nell'impartire i comandi (chiamati "verbi" o "VERB" in inglese) a ciascuno dei quali era possibile fornire alcune informazioni o parametri (i cosiddetti "sostantivi" o "NOUN" in inglese) per ottenere un riscontro del risultato sullo schermo.

La memoria dei programmi e del sistema operativo dell'AGC era molto particolare. Si trattava di un singolare sistema simile alla memoria a nuclei di ferrite ma, anziché modificare i suoi valori mediante l'uso di un segnale elettrico, i dati venivano immessi in modo permanente in fase di costruzione facendo passare o non facendo passare più fili elettrici all'interno di un dato nucleo di ferrite. Di fatto, il programma veniva letteralmente "cucito" sulla scheda di supporto.

Il microprocessore

**Announcing
a new era
of integrated
electronics**



**A micro-
programmable
computer
on a chip!**

Intel introduces an integrated CPU compatible with a 4400 standard address system. A 4K capacity, an 8-bit instruction and a 24-bit data bus are available. The 4004 is one of a family of four new ICs which comprise the MCS-4 micro-processor system - the first system to bring you the compact and flexibility of a microprocessor with the performance of a micro computer.

MCS-4 systems provide complete monitoring and control functions for test systems, data terminals, filing machines, measuring systems, automatic control systems and process control systems.

The heart of any MCS-4 system is a Type 4004 CPU, which includes a central part of 4K instructions, adding code in excess of 100,000 instructions for program storage and data transfer. It also includes a 4K program memory and a 4K data memory.

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

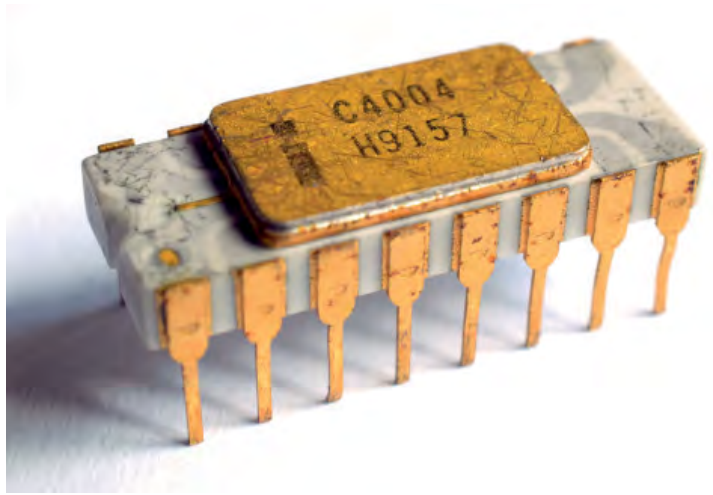
Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

Intel's 4004 is available in a variety of packages to expand the output range:

...dall'AGC alla miniaturizzazione, in un unico componente, dei principali circuiti di un computer il passo fu breve. Nel 1970 fu introdotto il primo microprocessore della storia, a bordo del caccia F-14. Pochi mesi dopo, un team di cui faceva parte anche dall'italiano Federico Faggin realizzò il primo microprocessore commerciale per usi civili, l'Intel 4004. Il mondo non fu più lo stesso...

**intel
delivers.**



Scheda del prodotto

Costruttore: Intel
Categoria: microprocessori
Luogo d'origine: Boston, MA (USA)
Anno di produzione: 1971-1981
Dati tecnici: 4 bit, 740 KHz

Descrizione

Il microprocessore è un dispositivo composto da circuiti integrati elettronici organizzati per offrire la logica, l'aritmetica e le funzioni di controllo di un sistema programmabile.

Il microprocessore tipico è composto da una CPU (Central Processing Unit) che contiene i registri, da una ALU (*Arithmetic Logic Unit*) che offre la capacità di calcolo e da una CU (Control Unit). Inoltre, il microprocessore contiene una piccola memoria interna per ottimizzare il passaggio di dati verso l'esterno.

Il microprocessore ha di solito capacità generaliste utilizzabili in molti contesti che spaziano dai personal computer alle applicazioni della robotica. Tuttavia, sono stati realizzati microprocessori specializzati in alcuni ambiti, i più noti dei quali sono la computer grafica e l'intelligenza artificiale.

Il microprocessore è il punto di arrivo di un'evoluzione iniziata nella prima metà degli anni '50, che ebbe un punto di svolta nel 1959 quando l'ingegnere Jack Kilby realizzò il primo microchip della storia per conto della Texas Instruments mentre nello stesso anno Robert Noyce della Fairchild Semiconductors ottenne il brevetto per il circuito integrato su un wafer di silicio. Il primo microprocessore noto fu realizzato dall'ingegner Ray Holt per il computer di bordo dell'aereo da caccia F-14 destinato alla US Navy. Poco dopo, l'italiano Federico Faggin contribuì in modo determinante alla realizzazione del primo microprocessore commerciale: l'Intel 4004.

Texas TI 2500 Datamath



...i microprocessori migliorano tutta la tecnologia del calcolo. Gli anni '70 vedono l'avvento delle calcolatrici elettroniche, strumenti notevolmente più prestazionali dei precedenti abaci, regoli e simili. E diventano sempre più piccole, leggere ed economiche...



Scheda del prodotto

Costruttore: Texas Instruments
Categoria: Calcolatrice elettronica tascabile
Luogo d'origine: Dallas, USA
Anno di produzione: 1973
Catalogato nel 2018

Descrizione

È la prima calcolatrice elettronica tascabile prodotta da Texas Instruments, azienda produttrice di circuiti integrati e componentistica elettronica, dopo una ricerca partita fin dal 1966. Fu prodotta in molte varianti via via che l'azienda introduceva piccoli miglioramenti hardware. Il nostro esemplare è la seconda versione: i progettisti erano riusciti a ridurre da 6 a 4 il numero delle batterie necessarie al suo utilizzo.

Fu l'ultimo modello di calcolatrice tascabile ad ospitare una tastiera con tecnologia Klixon, brevettata dalla Texas ma ormai superata.

In fase di restauro allo strumento qui in mostra sono state tolte le batterie NI-CD presenti all'interno, evidentemente non originali e che, per fortuna, non avevano versato. Per permetterne il funzionamento tramite corrente di rete e senza batterie, è stato inserito un condensatore da 1000mf 35v in parallelo all'alimentazione, per stabilizzarla e rendere il display leggibile.

Olivetti Divisumma 18



...Olivetti punta sulla qualità e sul design ricercato, come dimostra l'architetto Bellini con la sua Olivetti Divisumma 18: morbida gomma per la tastiera, stampa termica su nastro argentato..



Scheda del prodotto

Costruttore: Olivetti
Categoria: Calcolatrice elettronica portatile
Luogo d'origine: Ivrea, Italia
Anno di produzione: 1973
Catalogato nel 2016

Descrizione

Creata nel 1973 dalla mano del designer Mario Bellini, questa Divisumma 18 portatile e la 28 è da tavolo rappresentano un azzardo stilistico che destò all'epoca non poco scalpore. La morbida consistenza dei tasti, dal tocco vagamente lubrico ed erotico, non portò però grandi vendite alla casa di Ivrea, che si affacciava per la prima volta al mercato delle calcolatrici portatili elettroniche.

La filosofia era sempre basata sulla sola stampante per i risultati, in inedita versione a scarica elettrica su nastro metallizzato.

La Divisumma 18 è esposta nella collezione di strumenti di calcolo del Museum of Modern Art (MOMA) di New York.

In fase di restauro la calcolatrice qui in mostra una volta liberata dal pacco batterie esausto, che comunque non aveva sversato più di tanto, ha funzionato correttamente.

Atari 2600



...sempre negli anni '70 nasce una nuova industria, quella del gioco elettronico. Nolan Bushnell fonda Atari, che pone le basi del mercato dei videogiochi (gaming), prima nei bar e poi nelle case, con la prima console commerciale della storia: Atari 2600..



Scheda del prodotto

Costruttore: Atari

Categoria: console

Luogo d'origine: Sunnyvale, California, USA

Anno di produzione: 1977

Catalogato nel 2014

Dati tecnici: CPU MOS 6507 a 1,19 MHz (8 bit); Ram 128 Bytes; applicazioni memorizzate su Cartridge da 4 Kb

Descrizione

Il modello 2600, prima console per videogiochi che ebbe veramente successo, fu prodotto a partire dal 1977 col nome di VCS (*Video Computer System*) e rimase in produzione fino al 1991 con minime modifiche prettamente estetiche.

Il prodotto in mostra è la prima versione del 2600, la prima macchina multi-gioco, grazie alle cartucce intercambiabili (cartridge) che contenevano il software dei giochi; fino ad allora i giochi (al massimo 3-4) erano registrati direttamente nell'hardware delle console, senza possibilità di cambiamento.

Campione di longevità (più di 14 anni sul mercato), il 2600 fu venduto in oltre 30 milioni di esemplari e vantava un parco giochi con oltre 900 titoli. Ogni gioco funzionava in una RAM di appena 4 KB, ritenuta dai (poco lungimiranti) progettisti più che sufficiente per un qualsiasi software ludico.

Texas Instruments Speak & Spell



...intanto Texas sviluppa il primo prototipo di voce digitalmente sintetizzata. Per recuperare le spese di ricerca, il progetto originariamente militare generò un accattivante gioco per bambini, che in Italia si chiamò "Grillo parlante"...



Scheda del prodotto

Costruttore: Texas Instruments

Categoria: Gioco elettronico

Luogo d'origine: Texas, USA

Anno di produzione: 1983

Catalogato nel 2014 (donato da Lorenzo Galloni)

Descrizione

Introdotta negli Stati Uniti nel 1978, lo Speak & Spell fu il risultato di alcuni anni di studio di Texas Instruments nel settore della sintesi vocale, applicata a diversi tipi di apparecchi. Questo gioco elettronico, rivolto ai bambini a partire da 3 anni, è il primo ad utilizzare la sintesi vocale; gli ingegneri Texas dovettero impegnarsi molto per contenere i costi e le dimensioni, riuscendo però a realizzare un apparecchio economico e portatile, in cui è addirittura possibile inserire moduli d'espansione ROM per utilizzare giochi e lingue differenti.

Divenne un oggetto di culto dopo che venne usato nel film E.T. dal simpatico personaggio alieno per costruire un apparecchio necessario ad inviare un segnale al suo pianeta. In Italia giunse molto tardi, nel 1983, col nome di "Grillo parlante"; ottenne comunque un ottimo successo commerciale, grazie anche ad un azzecato spot pubblicitario.

Commodore 64



...negli anni '80 il computer entra in casa. Commodore introduce il C64. Semplice ma adeguatamente potente per un utilizzo domestico e professionale, è ancora oggi il computer più venduto della storia...



Scheda del prodotto

Costruttore: Commodore

Categoria: Home computer

Luogo d'origine: USA

Anno di produzione: 1982

Catalogato nel 2011 (donato da Dr. Terzo Nicolai)

Dati tecnici: RAM 64 KB; CPU MOS 6510 a 0,985 MHz (8 bit); Sistema operativo Kernal, CBM Basic 2.0; memorizzazione dati su nastri a cassette o floppy da 5.25"

Descrizione

Era il settembre 1982. Mentre in tutto il mondo la Apple si glorificava con le vendite dei nuovi modelli di Apple II, la Commodore International lanciò sul mercato il personal computer Commodore 64. Il successo del C64 fu immediato: il prezzo del nuovo modello era dimezzato rispetto a quello del concorrente, ma le prestazioni erano maggiori.

Il Commodore 64 possedeva anche un avanzato chip sonoro, dedicato esclusivamente alla gestione degli effetti audio: per questo furono numerosissime le applicazioni musicali, che prevedevano anche delle speciali tastiere per simulare un pianoforte sul C64.

Con quelle risorse così esigue fu infine possibile sintetizzare sul Commodore 64 la voce umana: indimenticabile quella voce elettronica di 30 anni fa che usciva per magia dai circuiti di una macchina da sogno.

La grafica passava per un chip video VIC-II che poteva produrre 16 colori e una risoluzione massima di 320 x 200 pixel. La modalità testo forniva invece una visualizzazione di 40 colonne per 25 righe in cui il font di caratteri di default era modificabile. Il sistema operativo BASIC, di diretta derivazione del Microsoft BASIC, consentiva all'utente di scrivere i programmi in BASIC e più in generale di utilizzare il computer immettendo dei comandi, come il comando LOAD per caricare un programma.

Nintendo NES



...quando negli USA il *gaming* va in crisi, la giapponese Nintendo realizza "Famicom", dai noi noto come NES.

Approdato in America ed in Europa, raggiunge uno straordinario successo grazie a titoli iconici come Mario e Zelda...



Scheda del prodotto

Costruttore: Nintendo

Categoria: *console*

Luogo d'origine: Giappone

Anno di produzione: 1986

Catalogato nel 2013 (per gentile concessione di Alberto Ramasso)

Dati tecnici: CPU Ricoh 2A07 a 1,66 MHz (8 bit); RAM 4 KB; giochi memorizzati su cartuccia estraibile

Descrizione

Lanciata in Giappone già dal 1983 col nome Famicom (Family Computer), questa console a cartucce gioco intercambiabili conobbe il successo internazionale con la distribuzione in USA (1985) col nome NES (Nintendo Entertainment System). Il successo americano del NES, console innovativa rispetto a tutti i giochi precedenti, rappresentò il superamento della cosiddetta "crisi dei videogiochi", che aveva condotto sull'orlo della bancarotta diverse grandi aziende americane del settore, tra cui l'Atari.

In Europa, la vendita, curata da Mattel, iniziò tardivamente nel 1986 e grossi ritardi si registrarono anche nella distribuzione dei giochi, cosa che ne impedì il meritato successo.

Titoli come Super Mario Bros e Double Dragon rappresentarono per l'epoca il massimo della tecnologia videoludica. Fu ritirata dal mercato nel 1995, raggiungendo quasi 62 milioni di unità vendute. Nintendo ha continuato a riparare i NES fino al 2007, indice di estrema diffusione del prodotto e, malgrado gli anni, di azzeccata giocabilità.

L'origine del pensiero numerico

UNO, MOLTI, QUANTI? ALLA SCOPERTA DEL PENSIERO NUMERICO NELLA PREISTORIA

Viola Castellani, Fabio Macciardi, Fabio Martini

Uno dei temi più ostici e intriganti nello studio dell'archeologia delle origini è la ricerca della genesi del concetto di quantità. La capacità di distinguere l'"uno" dai "molti", a prescindere dalla reale entità numerica, è una dote che l'Uomo condivide con molte specie del mondo animale, come qualità che consente di percepire istintivamente la quantità delle presenze che si affacciano nel rapporto visivo con altri individui, animali, cose. Quello che costituisce un patrimonio del genere *Homo*, non condiviso con altri, è la capacità di rielaborare una percezione inserendola in un pensiero organizzato. La ricerca dell'articolazione del pensiero numerico nella Preistoria si basa quasi esclusivamente su segni incisi o dipinti sulle pareti delle grotte, su ossa, su blocchetti rocciosi. Sono reperti che vengono inseriti genericamente nelle pratiche del "fare segno" oppure, eccessivamente nobilitate, nel repertorio dell'arte preistorica. Esplorare, quindi, il campo del pensiero numerico nella preistoria può avvalersi solo del filtro della grafica e della figurazione che sono gli strumenti visivi che permettono le interpretazioni e le ipotesi.

Infatti, a differenza degli etologi che indagano sui comportamenti documentabili e degli archeologi di epoche più recenti che hanno a disposizione fonti scritte, l'archeologia preistorica possiede quasi esclusivamente evidenze materiali, ovvero i segni sopra citati. Inserirle nella scala del tempo, alcune di queste evidenze illustrano e documentano una serie di esperienze e di procedimenti concettuali utili per verificare l'esistenza di un percorso mentale che possiamo definire "pensiero numerico". In questo breve testo che sintetizza la problematica sono stati selezionati alcuni reperti che vengono qui esposti e descritti in ordine cronologico.

Il percorso mentale che è possibile ipotizzare sulla base dei documenti grafici disponibili sembra basato su tre concetti innati: l'uso dello **spazio**, la **distanza**, la **quantità**; concetti che sono le radici visive del pensiero numerico astratto.

Lo spazio è la parola chiave ricorrente, condivisa in tutte le esperienze di cultura visuale: i segni tracciati dai cacciatori-raccoglitori paleolitici su un osso o su un blocco roccioso sono ancorati in uno spazio definito, delimitato dalla forma del supporto. Essa condiziona l'estensione, la grandezza del se-

gno, il suo percorso, la struttura grafica, la sua architettura: come la grandezza della tela condiziona la costruzione di una pittura, così il profilo del supporto (osso o roccia che sia) condiziona l'architettura dei segni. Lo spazio condiziona anche la piccola statuaria tridimensionale delle statuette antropomorfe a tutto tondo, sia quelle paleolitiche (le famose "Veneri"), sia quelle neolitiche euro-asiatiche. A partire dal X millennio a. C. determina anche la morfologia dei modellati in ceramica, la geometria delle antiche architetture in ogni epoca e ad ogni latitudine, la grafica delle decorazioni nelle produ-

zioni corinzie e greche, la disposizione dei personaggi nei frontoni di Wiligelmo del Duomo di Modena, il canone della sezione aurea rinascimentale, l'architettura del Palladio e potremmo continuare con molti altri esempi, sino all'arte astratta contemporanea.

Sullo spazio "consapevole", quindi, si innestano altri due eventi fondamentali, la coscienza della distanza e della quantità.



Fig. 1 - Questo strumento bifacciale (amigdala) risale ad una fase antica del Paleolitico africano (Cultura dell'Acheuleano), probabilmente intorno a 800-600 mila anni fa. Ne è autore Homo ergaster che con una esperta tecnica di scheggiatura della roccia mediante percussione ha creato un manufatto con una perfetta simmetria bilaterale; essa indica una progettazione che coniuga i rapporti tra le varie parti dell'oggetto con equidistanze e regole geometriche (Foto Archivio MIFIP-Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria)

La documentazione archeologica

Per trattare il tema del pensiero numerico abbiamo selezionato alcuni reperti particolarmente significativi all'interno della documentazione archeologica. Si collega alla riflessione in discorso anche la simmetria bilaterale che viene raggiunta già nello stadio *Homo ergaster* in Africa attorno al 1,6-1,7 milioni di anni fa, con la costruzione dei bifacciali (amigdale), robusti strumenti in pietra con morfologie regolari caratterizzati da proporzioni formali standardizzate (fig. 1; tav. 1 n. 3).

Le evidenze segniche più antiche rimandano all'Uomo di Neanderthal (*Homo neanderthalensis*). Lo stadio ad esso successivo, quello di *Homo sapiens*, appare più articolato e com-

plesso. Abbiamo selezionato alcuni reperti particolarmente significativi all'interno di una documentazione archeologica non abbondante ma significativa.

Lo stadio grafico neandertaliano

Nell'estetica neandertaliana esistono più procedimenti concettuali, uno più semplice che mette il fare segno in relazione con lo spazio di un supporto e un altro che tende a classificarlo, a suddividerlo in misure prefissate sottintendendo così ad un pensiero numerico.

Grotta del Cavallo

Grotta del Cavallo, localizzata in provincia di Lecce, è uno dei siti più importanti del Mediterraneo per ricostruire la vita dei Neandertaliani (Paleolitico medio, la loro cultura è detta Musteriano) che la abitarono tra 250-40 mila anni fa. A circa 42 mila anni fa risalgono alcune piccole pietre che sono state tutte incise secondo un progetto grafico omogeneo: motivi lineari generici che formano un intreccio compatto di linee parallele e subparallele (fig. 2 n. 1; tav. 1 n. 1). Il progetto grafico non suddivide lo spazio ma crea un "effetto superficie", un'immagine che viene percepita statica, priva di dinamismo. È questo il modulo concettuale più frequente documentato dalle evidenze neandertaliane note in diversi siti europei, che si accompagna ad altre più complesse che andiamo a descrivere.

Temnata, Grotta Costantini

Nella grotta di Temnata (in Bulgaria, la presenza neandertaliana risale in questo sito a circa 50 mila anni fa) è stato messo in luce un supporto in pietra che presenta su una faccia una serie di linee parallele, abbastanza equidistanti e non troppo dissimili nella lunghezza (fig. 2 n. 2; tav. x n. 2). Se ne contano 18, ma il pezzo è frammentario. Il procedimento che ha ispirato la disposizione delle incisioni è legato alla distanza tra le singole linee, distanza che genera un ritmo continuo e regolare, senza sbalzi, privo di dinamismo. L'estensione delle singole linee che quasi uniscono i due margini del supporto non pare indirizzata a fornire una coscienza quantitativa, la loro lunghezza è eccessiva se funzionale al computo; infatti se si volesse indicare un conteggio la lunghezza dei singoli segni richiederebbe, per non distrarre l'osservatore, tratti più corti, semplici tacche e non linee.

Simile ma nello stesso tempo differente è il fraseggio grafico delle linee incise sull'osso di Grotta Costantini, un sito in Liguria abitato dai Nean-

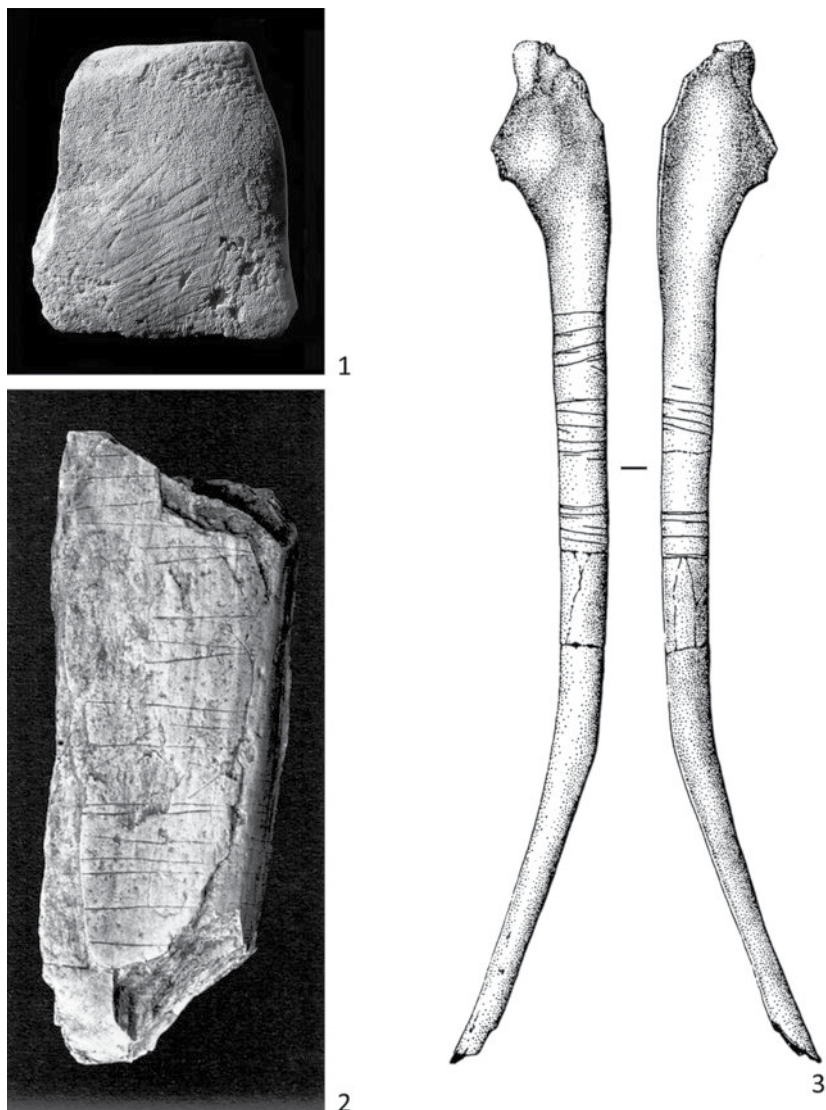


Fig. 2 - 1: Grotta del Cavallo (Lecce). Blocchetto calcareo inciso con un gruppo di linee che crea un effetto superficie. 2: Grotta Temnata (Bulgaria). Frammento osseo con incisioni regolari abbastanza equidistanti che creano una elementare scansione ritmica. 3: Grotta Costantini (Imperia). Una scansione ritmica più evidente caratterizza queste incisioni su osso, disposte secondo un'alternanza regolare di spazi pieni e spazi vuoti (Foto Archivio MIFiP-Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria)

dertaliani che li hanno realizzato circa 50-60 mila anni orsono l'oggetto qui illustrato (fig. 2 n. 3; tav. 3 n. 3). I segni incisi sono ripartiti in tre gruppi di 4-5 linee e avvolgono tutto il supporto. L'effetto percepito è quello di un ritmo regolare e continuo come a Temnata, ma che qui è decisamente dinamico per via della successione di spazi pieni e spazi vuoti equidistanti.

I due esempi citati, in sintesi, non rimandano strettamente ad un pensiero numerico ma ad una organizzazione grafica che si basa sulla distanza tra le singole linee (Temnata) o tra singoli gruppi di linee (G. Costantini). Suddividere lo spazio, come si osserva nel reperto di Grotta Costantini, indica un sintomo numerico dato dal numero delle linee che formano i tre gruppi. A livello concettuale, infatti, la scansione ritmica è connessa al pensiero numerico in quanto la superficie compositiva del supporto è soggetta a misurazione, ad una classificazione dello spazio che genera regolarità e ritmo; attraverso la posizione dei motivi lineari la superficie viene divisa in misure prefissate, i segni sono graduati in modo che nella loro completezza illustrano l'essenza di un procedimento mentale.

Oltre a questi due esempi, lo scarno repertorio europeo comprende altre incisioni che ripetono i medesimi procedimenti concettuali.

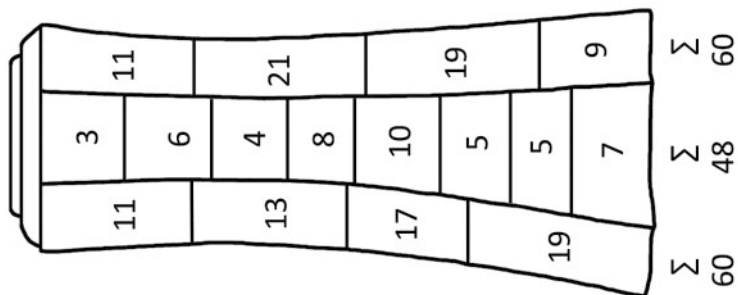
Lo stadio grafico e figurativo di Homo sapiens

Ishango

Da Ishango (Repubblica democratica del Congo), un sito frequentato circa 20 mila anni fa, proviene un osso di babbuino (lunghezza circa 10 cm) che presenta tre registri di incisioni lineari (fig. 3; tav. 1 n. 4). Esse formano uno schema che sembra possedere, secondo alcuni studiosi, una base di pensiero matematico: nelle due colonne laterali i segni sono in numero dispari (9, 11, 13, 17, 19, 21), in una sono numeri primi compresi tra 10 e 20, nell'altra il numero delle linee sembra rispondere alla regola $10-1$, $10+1$, $20-1$, $20+1$ e in entrambe le colonne il numero delle incisioni somma a 60. Più complesso è il rapporto numerico delle 48 linee nella colonna centrale. In questo reperto la suddivisione dello spazio è irregolare e non si percepisce una scansione ritmica, ma indubitabile è l'organizzazione dei gruppi di incisioni in un uso definito, organico e coerente dello spazio disponibile. Ne risulta una connessione con i tre presupposti mentali di spazio, distanza e quantità, che crea una complessità concettuale nuova rispetto allo stadio neandertaliano. Non si colgono tuttavia regolarità o simmetrie numeriche che possano far ipotizzare un maturo sistema mentale aritmetico.



1



2

Fig. 3 - Ishango (Repubblica Democratica del Congo). Osso di babbuino sul quale si osservano tre registri di incisioni regolari, ben visibili nelle quattro visuali. Nel disegno (in basso) si presti attenzione alla somma delle linee nei tre registri (60 + 48 + 60) (foto RBINS-Google Arta& Culture; da Pletser 2012 modificato)

Grotta Chauvet, Grotta di Niaux

Questi due siti, entrambi in Francia, sono stati selezionati in questa sede per indicare un preciso procedimento concettuale omogeneo di *H. sapiens* in due momenti distinti del Paleolitico, attorno a 35-30 mila anni fa a G. Chauvet, intorno a 15 mila anni orsono per G. di Niaux. Questi due esempi rientrano nelle evidenze di *H. sapiens* in Europa che sottolineano la complessità concettuale nel pensiero che elabora e coniuga la percezione spazio-distanza-quantità. Il risultato segnico appare come un prodotto che unisce la semplicità del primitivo con la raffinatezza delle più alte soluzioni visuali della storia dell'Uomo.

Il piccolo pannello dipinto con oca rossa su una parete di Grotta Chauvet (fig. 4 n. 1; tav. 2 n. 1) era ben visibile a chi abitava quello spazio di grotta; comprende circa 50 punti assemblati lungo una cresta calcarea stretta e lunga in modo che essa ne risulta totalmente ricoperta e percepita come un insieme unitario. L'insieme di punti ravvicinati crea un effetto superficie che può essere inteso come una raffigurazione compatta, una vera e propria "figura". Si noti che, sia pure con alcune incertezze, i punti dipinti sono leggibili in modo quasi ordinato in senso verticale e orizzontale.

I requisiti di spazio-distanza-quantità si ripetono anche nella Grotta di Niaux in un pannello anch'esso elaborato con un serie di punti dipinti che occupano lo spazio liscio e regolare (quasi subrettangolare) di un oggetto roccioso (fig. 4 n. 4; tav. 2 n. 4). La loro disposizione è ordinata e crea una sorta di figura geometrica; in questo spazio ordinato i punti sono leggibili con una forte regolarità in senso verticale e orizzontale. A sinistra di questa figura è ben visibile su un piccolo oggetto circolare della roccia una semplice serie di punti che delimitano e seguono la morfologia naturale dell'oggetto medesimo, creando una circonferenza regolare che trova il suo punto focale al centro del cerchio.

Grotta di Vogelherd

La Grotta di Vogelherd (Germania) è un sito molto importante in Europa, soprattutto per una ricca produzione artistica. Una piccola statuetta in avorio raffigurante un mammoth (lunghezza cm 3,7) e risalente al Paleolitico superiore arcaico (35 mila anni fa, cultura dell'Aurignaziano) porta la nostra attenzione al pensiero numerico puro: sul corpo dell'animale sono state incise profondamente, in modo che siano ben visibili e immediatamente percepibili dallo spettatore, tre serie di segni a X (fig. 4 n. 3; tav. 2 n. 3). Esse non si coniugano col parametro "spazio" ma si pongono come elemento numerico autonomo dalla figura, sono pura "quantità" in virtù anche dall'essere tutti i segni a X molto ravvicinati tra loro (la "distanza"), formando in

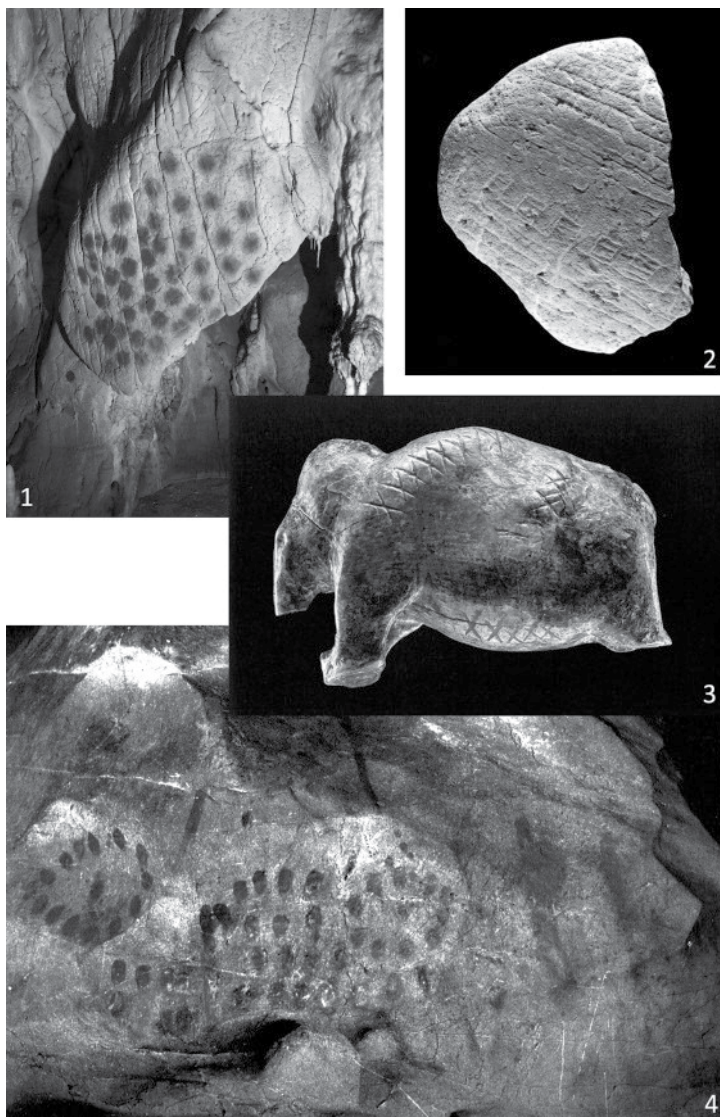


Fig. 4 – 1: Grotta Chauvet (Francia). Pannello con segni puntiformi; 2: Grotta del Cavallo (Lecce). Ciottolo calcareo con incisioni disposte secondo una costruzione lineare organizzata e a simmetria bilaterale; 3: Grott di Vogelherd (Germania). Piccola statuetta in avorio raffigurante un mammoth; 4: Grotta di Niaux (Francia). Pannello con una costruzione regolare di segni puntiformi (nn. 1, 4 da Fritz 2022; nn. 2, 3 foto Archivio MIFIP-Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria)

sintesi tre linee che segnano tre porzioni del corpo del soggetto zoomorfo. Forse è lecito ipotizzare che queste tre serie possano indicare le ferite (reali o immaginate) inferte all'animale.

Grotta del Cavallo

La Grotta del Cavallo ha restituito, oltre alle evidenze neandertaliane (vedi *supra*), anche documentazioni importanti relative alla fine del Paleolitico (12-10 mila anni fa) comprendenti anche diverse decine di pietre incise. Nel loro ampio repertorio compaiono alcune incisioni che si prestano alla riflessione sull'uso dello spazio, sulla distanza e sulla quantità. Nel reperto qui illustrato (fig. 4 n. 2; tav. 2 n. 2) in uno schema a simmetria bilaterale alcune linee regolari, parallele ed equidistanti compongono un ampio margine lungo i due margini, mentre al centro della superficie si snodano due serie di greche quadrangolari. L'architettura dell'incisione nel suo insieme denota l'uso cosciente di un pensiero numerico che si esprime nella regolarità, nelle dimensioni standardizzate e nell'equidistanza delle greche e delle linee.

Grotta Lascaux, Grotta Cosquer, Grotta La Vache, Riparo Villabruna A

La regolarità di figure geometriche è particolarmente evidente in altre evidenze paleolitiche, nelle quali il tratto dipinto o inciso segue rigidamente una regola compositiva. Essa presuppone, nella sua regolarità geometrica, un procedimento concettuale che crea immagini ispirate da una chiara suddivisione e da un trattamento cosciente dello spazio visuale. Nei tre esempi proposti spazio-distanza-quantità sono trattati in un dialogo molto complesso ma coerente.

Nella Grotta Cosquer, abitata circa 27 mila anni fa, nei pressi di Marsiglia (Francia), le pareti sono state dipinte e incise con figure animali e geometriche. I quattro rombi concentrici qui illustrati (fig. 5 n. 2; tav. 3 n. 2) sono stati incisi con un attento e regolare gesto, utilizzando uno strumento in pietra ad apice acuminato (simile al bulino degli attuali orafi); è stato creato un effetto visuale quasi tridimensionale che li rende percepibili come figura proiettata nello spazio con una certa profondità, una sorta di vortice che risucchia lo sguardo.

Anche a Grotta Lascaux (circa 18.000 anni fa), con l'ausilio del colore, il grande quadrato regolarmente suddiviso in nove quadrati più piccoli risponde al principio della regolarità della distanza che si armonizza con la simmetria del numero 9 (fig. 5 n. 1; tav. 3 n. 1).

La Grotta La Vache, sui Pirenei francesi, è stata abitata alla fine del Paleolitico (14-12 mila anni fa) da un gruppo di cacciatori-raccoglitori che hanno



1



2



3



4

Fig. 5 - Grotta Lascaux (Francia). Pannello dipinto sulla parete della roccia con figura policroma quadrangolare; 2: Grotta Cosquer (Francia). Incisione geometrica; 3: Riparo Villabruna A (Belluno). Grosso ciottolo calcareo con rappresentazione schematica di un antropomorfo; 4: Grotta La Vache (Francia). Incisione lineare schematica (n. 1 da Aujoulat 2004; n. 2 da Clottes 2008; n. 3 da Martini 2016; n. 4 da Sanz Martinez 1954-55)

prodotto molti oggetti ornati; sono presenti profili di animali e di pesci e figurazioni geometriche, alcune dipinte in ocra rossa sulle pareti. Una di queste è a profilo vagamente trapezoidale, campito all'interno da 10 linee oblique equidistanti disposte secondo una scansione ritmica regolare (fig. 5 n. 4; tav. 3 n. 4). Pannelli simili sono segnalati in Spagna, sia con campiture mediante 10 linee sia con un numero maggiore.

Scansione ritmica regolare, equidistanza, simmetria bilaterale, suddivisione regolare e armonica dello spazio caratterizzano anche la pietra dipinta di Riparo Villabruna A (fig. 5 n. 3; tav. 3 n. 3), una roccia dipinta in ocra rinvenuta in associazione con l'inumazione di un giovane cacciatore-raccoglitore sepolto circa 12 mila anni orsono in un bivacco di caccia sulle Prealpi bellunesi. Si tratta di una immagine schematica interpretata come una figura umana: il tronco è dato dalla linea centrale che termina con una breve appendice (il sesso), la testa non è rappresentata, le linee a zig zag potrebbero rappresentare le braccia, moltiplicate in numero di dieci (cinque per lato); su una di esse (la penultima in alto a sinistra) una ulteriore linea sembra indicare un'asta, un'arma. La moltiplicazione degli arti è un modello diffuso in Europa tra la fine del Paleolitico e il Mesolitico (10-mila anni fa), utilizzato sia per le figure umane (moltiplicazione della forza? enfaticizzazione del valore?) che per le zampe degli animali.

Artificial Memory System

Nel commentare le evidenze paleolitiche che rimandano al pensiero numerico dobbiamo partire dal concetto di AMS, proposto circa dieci anni fa da alcuni archeologi. L'AMS, ovvero Artificial Memory System, è un sistema di memoria artificiale attribuito ad alcuni oggetti che possono aiutare nel processo di conteggio. Si parte dal presupposto che un manufatto possa essere un dispositivo che estende le performances cognitive per immagazzinare informazioni numeriche. L'ipotesi, e al momento resta solo una ipotesi, nasce da un modello proposto dagli studiosi di psicologia evolutiva, denominato "material embodiment cognition". Certamente le incisioni e le pitture qui presentate come esempi di un repertorio più ampio, sia di *H. neanderthalensis* sia di *H. sapiens*, mostrano una organizzazione pianificata dello spazio, la regolarità delle distanze, le scansioni ritmiche che suggeriscono una sorta di "quantità" dei segni (uno, molti, quanti?). Essa documenta che chi ha tracciato quelle linee aveva saputo elaborare (*pre-vedere*) un progetto mentale del lavoro che precede la sua realizzazione, comprendente anche un ragionamento numerico che influisce nell'adattamento dei segni alla dimensione e alla forma dei supporti istoriati.

Ne deriva l'ipotesi che già nel Paleolitico era possibile percepire e distinguere i segni sequenziali equidistanti da quelli non equidistanti in modo simile all'Uomo attuale; del resto lo strumentario in pietra del genere *Homo* dimostra che, a partire da 2,5 milioni di anni fa, ogni specie del cammino evolutivo possedeva un controllo neuromotorio che permetteva di padroneggiare i gesti in funzione delle tecniche necessarie per ottenere utensili funzionali all'uso previsto. Ciò vale, quindi, anche per i progetti grafici.

Possiamo lasciare sospesa l'ipotesi se le ossa e i blocchetti incisi e dipinti siano da considerare strumenti AMS, in ogni caso è indiscutibile che è in aumento la serie di documentazioni archeologiche attestanti che questi lontani progenitori avevano già le premesse biologiche e culturali per affrontare un pensiero numerico. È questo un patrimonio concettuale che li/ci distingue dagli altri primati superiori e dagli altri animali, i quali possiedono un "senso numerico" ma sono privi di un'abilità cognitiva completamente sviluppata in grado di elaborare un concetto di numero e di utilizzarlo opportunamente.

Il numero come concetto cognitivo

Dare una specifica definizione di concetto di numero è complesso: esso ha un suo fondamento di tipo culturale e si interfaccia con altre funzioni cognitive superiori, come il linguaggio e il pensiero astratto. Quello che è importante sottolineare è che per la creazione di un concetto culturale devono esistere delle strutture cerebrali che ne permettano la realizzazione.

La *cardinalità* (la regola secondo la quale un numero n è sempre più alto del numero precedente $n-1$) e l'*ordinalità* (l'abilità di imparare e costruire sequenze numeriche) sono culturalmente definite come prerequisiti del concetto di numero e dell'abilità di conteggio, anche se ci sono popolazioni che tutt'oggi sanno contare solo fino a 2 o 3 e ogni quantità più alta viene definita solo come "molti". La cardinalità e l'ordinalità richiedono anche un sistema di notazione che, per quanto rudimentale, implica l'utilizzo di simboli, come i numeri romani e arabi.

La capacità tipicamente umana di implementare sistemi non simbolici per i numeri è connessa a capacità cognitive che condividiamo con molte altre specie del mondo animale. Queste capacità, innate e universali, sono il cosiddetto *subitizing* (l'abilità di contare fino a 4) e l'*analogue magnitude* (l'abilità di stimare la quantità approssimativa di gruppi di oggetti relativamente grandi). Il *subitizing* e l'*analogue magnitude* sono compiti numerici non simbolici che sono più facili da realizzare quanto maggiore è la differenza tra due o più insiemi di oggetti e quanto minore è il numero assoluto di oggetti da tenere d'occhio. Insieme queste due abilità numeriche non simboli-

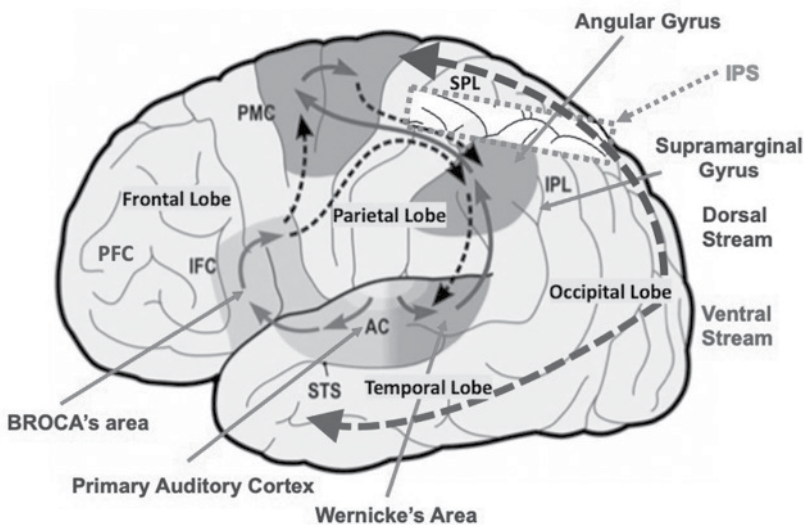


Fig. 6 - Le frecce nere con punteggiatura in grassetto indicano la direzione approssimativa del Flusso Dorsale a funzione non semantica (non-semantic Dorsal Stream) che controlla l'integrazione degli oggetti nello spazio a partire dalla corteccia visiva occipitale (Occipital Lobe). La freccia blu con punteggiatura in grassetto mostra la direzione del flusso ventrale semantico (Ventral semantic stream) che origina sempre dalla corteccia visiva occipitale e si estende verso il lobo Temporale (Temporal Lobe). Il flusso ventrale (in verde) ha una funzione generale nella ricognizione uditiva degli oggetti e azioni, inclusa la percezione della vocalizzazione e del parlato. Il flusso dorsale (in rosso) si articola nella corteccia parietale (Parietal Lobe) inferiore / posteriore, dove una rapida integrazione dell'informazione derivata da eventi sensoriali è confrontata con le efferenze motorie (linee tratteggiate). In questo modo il flusso dorsale gioca un ruolo allo stesso tempo generale e centrale nell'integrazione e controllo senso-motorio. Il solco intraparietale (IntraParietal Sulcus: IPS) si trova all'interfaccia di queste due regioni e controlla l'abilità numerica (numerosità) e la comprensione/integrazione di concetti astratti (astrazione), in aggiunta ad altre funzioni: sebbene l'IPS sia presente anche nel cervello dell'uomo di Neanderthal, appare molto più sviluppato in *H. sapiens*, lasciando aperta la questione se i Neanderthal avessero le stesse capacità cognitive (numerosità e astrazione) che caratterizzano l'uomo contemporaneo. Altre regioni coinvolte in funzioni neuro-cognitive (si veda il testo per ulteriori dettagli) comprendono altre regioni del lobo parietale, quali la circonvoluzione sopramarginale (Supramarginal gyrus: SMG) e la circonvoluzione angolare (Angular gyrus: AG), e sono anche localizzate nell'espansione laterale del lobo parietale alla giunzione con la circonvoluzione temporale superiore (Superior Temporal Gyrus: STG). IFC = Inferior Frontal Cortex/corteccia frontale inferiore; STS=Superior Temporal Sulcus/solco temporale superiore; AC=Auditory Cortex/corteccia uditiva; IPL=Inferior Parietal Lobe/lobo parietale inferiore; SPL=Superior Parietal Lobe/lobo parietale superiore; IPS=Intra-Parietal Sulcus/solco intraparietale; PMC=Pre-Motor Cortex/corteccia premotoria; PFC=Pre-Frontal Cortex/corteccia prefrontale (da Rauschecker 2012, modificato)

che formano una capacità di base nota come *numerosità* o “*number sense*” che gli esseri umani condividono con altri animali, suggerendo un meccanismo numerico non verbale evolutivamente molto antico. Il *subitizing* e l’*analogue magnitude* sono le abilità cognitive di base su cui il concetto di numero è costruito ontogeneticamente e, presumibilmente, nell’evoluzione. È incontestabile attribuire queste due abilità a tutti i primi ominini.

Dal punto di vista cerebrale (fig. 6; tav. 4), la *numerosità* sembra essere controllata dal Solco Intra-Parietale (*Intra-Parietal Sulcus*, IPS) presente nel Lobo Parietale (PL) nei mammiferi. Anche il cervello degli uccelli possiede una struttura analoga al Lobo Parietale, l’*Hyperpallium*. Tuttavia i meccanismi evolutivisti e molecolari legati a tale somiglianza sono ancora sconosciuti e ad oggi non possiamo escludere la possibilità di un’evoluzione convergente per gli umani e gli animali non mammiferi. Mentre la *numerosità* potrebbe in questo modo condividere strutture neurali evolutivamente molto antiche tra gli ominidi e gli altri animali, in questa sede siamo interessati all’origine dell’utilizzo cognitivo e simbolico dei numeri e delle abilità matematiche e geometriche che sono emerse durante l’evoluzione degli ominini, abilità che implicano anche l’attivazione del Lobo Frontale e Medio Temporale oltre che del Lobo Parietale.

Una prima indicazione sicura di abilità cognitiva relazionata al pensiero numerico e geometrico è data dalla capacità di creare utensili bifacciali, noti anche come amigdale, da parte di *H. ergaster* (*H. erectus* senso lato), a partire da circa 1,7 milioni di anni fa. A differenza dei precedenti ciottoli scheggiati (detti anche *chopper* e *chopping tool*), datati a circa 2,5 milioni di anni fa, i bifacciali richiedono l’abilità di ruotare mentalmente l’oggetto e di costruirlo con una forma a simmetria bilaterale. Questi “artigiani”, quindi, non solo riconoscevano la simmetria in natura, ma erano in grado di trasportarla volontariamente su un manufatto. La realizzazione di questi utensili presuppone una previsione ben definita, un progetto generato dalla capacità di astrazione e anche una qualche capacità di misurazione del supporto: è impossibile, infatti, rendere un oggetto simmetrico senza misurarlo.

Questi manufatti dimostrano inoltre quella che è stata definita “rifilatura minima”: venivano realizzati con brevi interventi di percussione sui margini sino a condurre alla forma finale prevista. I bifacciali quindi non sono il risultato di una scheggiatura del supporto in pietra per tentativi ed errori: nella sagomatura per tentativi ed errori le schegge derivate dalla percussione sarebbero state rimosse contiguamente fino a raggiungere una forma accettabile, invece il ritocco minimo e discontinuo indica che l’esecutore era in grado di anticipare la forma finale e sapeva esattamente cosa doveva essere fatto per ottenerla.

Un tale nuovo risultato cognitivo è probabilmente dovuto ad una maggiore evoluzione del Lobo Parietale rispetto a quello degli ominini precedenti, probabilmente insieme alla presenza di un iniziale circuito neurale che collega il lobo frontale con quello parietale.

Possiamo riconoscere un IPS più evidente e un Lobo Parietale più sporgente in Neanderthal, mentre la moderna morfologia dell'IPS e del PL in *H. sapiens* è stata raggiunta solo con la globularizzazione della forma del cervello nell'Uomo Anatomicamente Moderno (AMH: Anatomical Modern Human) circa 100 mila anni fa. Questo cambiamento di forma cerebrale probabilmente può aver dato origine a circuiti neurali che sono responsabili sia per il pensiero astratto che per quello matematico.

Una configurazione funzionale avanzata del PL presente già in Neanderthal, insieme ad un probabile sviluppo di circuiti subcorticali fronto-parietali, può spiegare la loro abilità in compiti complessi che necessariamente richiedono un utilizzo piuttosto sofisticato di abilità matematiche e geometriche, in aggiunta a funzioni esecutive e organizzative completamente sviluppate, come la costruzione di un cerchio di pietre nella grotta di Bruniquel o le linee incise sul supporto di Grotta Temnata o quelle a scansione ritmica di Grotta Costantini.

Studi di *imaging* cerebrale di soggetti umani moderni con o senza abilità matematiche specifiche hanno mostrato che l'esecuzione di compiti matematici attiva un insieme di regioni cerebrali nei lobi frontali, parietali e temporali. Queste regioni coincidono con le medesime regioni che abbiamo identificato come possibilmente critiche nell'evoluzione dell'uso cognitivo dei numeri negli ominini (*H. erectus* e *H. neanderthalensis*) e sono state associate anche ad altre con funzioni cognitive oltre alle abilità matematiche, come l'integrazione di stimoli sensoriali, l'abilità di manipolare oggetti e di orientarli nello spazio e il riconoscimento di volti. Non ci sono quindi neuroni né regioni cerebrali che siano specificatamente dedicati ad abilità matematiche, piuttosto sembra che regioni che si sono originariamente sviluppate per altre funzioni siano andate incontro ad "*exaptation*" (un adattamento per funzioni nuove rispetto a quelle originali) per controllare nuove abilità cognitive.

Ampliando il concetto di *exaptation*, lo psicologo Michael Anderson ha sviluppato la teoria del riutilizzo neuronale (MDR: *Massive Redeployment Hypothesis*) secondo la quale gli elementi neurali originariamente sviluppati per una determinata funzione sono stati riutilizzati per molti altri scopi differenti. Per le funzioni cognitive evolutivamente recenti, come la lettura e le abilità matematiche, Dehaene ha proposto una teoria simile denominata "*Neural Recycling Hypothesis*", secondo la quale circuiti neurali che

collegano diverse aree cerebrali e non le aree stesse possono supportare nuove modalità cognitive e nuove procedure grazie ad una loro adattabilità definita come neuroplasticità.

Riferendosi al controllo dei numeri, alcuni studiosi hanno poi proposto l'ipotesi della "linea numerica mentale" (MNL: *Mental Numeric Line*), secondo la quale i numeri sono rappresentati nel cervello come entità spaziali. Secondo questa ipotesi la rappresentazione dei numeri nel cervello assume appunto la forma di una linea numerica, orientata da sinistra a destra e lungo la quale la grandezza del numero è posizionata in ordine crescente.

Ma quali sono stati i meccanismi che hanno in qualche modo guidato lo sviluppo di strutture e funzioni cerebrali che supportano l'uso cognitivo dei numeri nel corso dell'evoluzione degli ominini? In termini evolutivisti moderni e seguendo l'ipotesi darwiniana della selezione naturale come schema esplicativo anche del nostro attuale sviluppo neuro-cognitivo, l'ipotesi più accreditata è che lo sviluppo cerebrale e la genesi di un sistema numerico simbolico siano stati conseguenti a processi di ordine biologico-molecolari e alla loro interazione con eventi non-genetici e non-biologici ma culturali (*sensu lato*) e ambientali¹. Oggi, le neuroscienze cognitive cominciano ad avere gli strumenti per esplorare la complessità di questi processi.

Così come diverse sono le aree e i circuiti cerebrali coinvolti nell'evoluzione di un sistema numerico cognitivo e simbolico, così altrettanto numerosi sono i geni che controllano le cellule neurali che compongono queste strutture e rendono ragione dell'architettura funzionale del cervello umano. A oggi, sono stati già identificati più di 1.400 geni variamente coinvolti nello sviluppo di un tratto numerico cognitivo, geni che ovviamente non controllano per un numero simbolico o una funzione matematica, ma che controllano la composizione cellulare dei neuroni, e il loro assemblamento in reti neurali funzionali. Queste ultime a loro volta rappresentano i meccanismi biologici che permettono lo sviluppo di tratti cognitivi, come l'astrazione numerica o il linguaggio. Come esempio, possiamo riferirci alla scoperta recente di una funzione particolare del gene *ROBO1*. Questo gene in particolare regola la crescita prenatale degli strati delle corteccie cerebrali, è associato con il volume della parte destra della corteccia parietale (regione

¹ In questo contesto, il termine cultura è da intendersi in senso antropologico, cioè come il complesso delle manifestazioni della vita materiale, sociale e spirituale di un popolo o di un gruppo etnico, in relazione alle varie fasi di un processo evolutivo o ai diversi periodi storici o alle condizioni ambientali.

cerebrale che è fondamentale per tutto ciò che è associato alla quantità) e sembra essere un gene che regola a cascata molti degli altri geni coinvolti nelle capacità numeriche simboliche.

Il concetto di numero e il pensiero astratto

Come dicevamo in precedenza, il concetto di numero si interfaccia anche con il pensiero astratto. *Subitizing e analogue magnitude* hanno ben poco di astratto, quindi deve essere aggiunto qualcosa a questi sistemi centrali di numerosità prima che possano trasformarsi in un concetto astratto di numero vero e proprio. Il pensiero astratto dipende in parte dalla capacità di mantenere l'attenzione contemporaneamente su più informazioni, confrontarle ed estrarre i punti in comune.

Questa abilità dipende dalla capacità della cosiddetta "Memoria di Lavoro" (MDL) che è una struttura a capacità limitata che mantiene ed elabora delle informazioni per un periodo di tempo limitato. Negli esseri umani moderni c'è una chiara correlazione tra la capacità della memoria di lavoro e l'intelligenza fluida, che è la capacità di risolvere problemi nuovi. Per estensione, è probabile che la comprensione del concetto di numero richieda un livello adeguato di capacità di Memoria di Lavoro.

Secondo lo studioso Ashcraft componenti diversi della Memoria di Lavoro possono essere coinvolti specificatamente nelle abilità numeriche. Ad esempio, il circuito fonologico, uno dei componenti della Memoria di Lavoro, principalmente finalizzato al mantenimento e all'elaborazione di informazioni verbali, sembra essere coinvolto anche nel conteggio e nel mantenimento di informazioni durante lo svolgimento di calcoli complessi. Ashcraft e colleghi (1992) hanno suggerito che l'Esecutivo centrale (altro componente della MDL) sia responsabile di avviare e dirigere la comprensione, l'elaborazione e il recupero delle informazioni numeriche dalla memoria a lungo termine. La Memoria di Lavoro Visuo-Spaziale (VSWM, dall'inglese *visuo-spatial working memory*), nello specifico, sembra essere coinvolta nelle capacità di conteggio, nelle operazioni a più cifre e nella risoluzione di problemi non verbali. Naturalmente, questo non risolve il problema dell'astrazione. La moderna capacità di memoria di lavoro può essere necessaria anche per il pensiero astratto, ma non è sufficiente. In questo ambito la cognizione estesa può aver giocato un ruolo: dispositivi esterni intesi come artefatti tecnologici (inclusi, probabilmente, i manufatti che abbiamo preso in esame) hanno effettivamente esteso la capacità della memoria di lavoro delle persone, "mantenendo a vista" alcune informazioni mentre permetteva all'attenzione stessa di raccogliere più e diverse informazioni per affrontare il problema.

Linguaggi e numeri

È doveroso fare un accenno anche al ruolo del linguaggio nelle abilità numeriche. Alcuni studi sostengono che la facoltà di linguaggio fornisce l'attrezzatura cognitiva che permette agli esseri umani di sviluppare un concetto sistematico di numero. Dallo studio delle evidenze qui presentate è chiaro che le basi cognitive necessarie per la creazione di un concetto di numero erano già presenti nello stadio neandertaliano (per convenzione coincidente con il Paleolitico medio) e di *Homo sapiens* (Paleolitico superiore), per estensione poteva essere già in atto anche un sistema di etichettatura, cioè le parole numeriche. Ciò può non sorprendere se si pensa che molti studiosi sostengono che tutte le persone vissute negli ultimi 40.000 anni avessero capacità pienamente moderne, compreso non solo il linguaggio verbale ma anche quello non verbale come il fare musica (il flauto più antico risale a 36 mila anni fa), la danza e anche l'arte con procedimenti concettuali che da allora hanno gettato un ponte tra preistoria e arte contemporanea. Sono queste procedure creative che sono obbligatoriamente costruite su architetture numeriche che implicano la gestione dello spazio, della distanza, del ritmo e anche la completa padronanza di questi strumenti metaforici attraverso lo sviluppo di concetti astratti, compreso quello numerico. Sviluppo che può essere sostenuto, come abbiamo detto, anche da manufatti dipinti e incisi come quelli qui presentati a supporto delle nostre riflessioni.

All'argomento trattato nelle sue diverse implicazioni si riferisce un'ampia bibliografia, soprattutto specialistica. Riportiamo qui alcuni titoli, essenziali per chi intende approfondire.

ASHCRAFT M.H., 1992, *Cognitive arithmetic: A review of data and theory*, *Cognition*, 44, pp. 75-106.

BRUNER E., 2015, *Human paleoneurology* (E. Bruner, ed.), Springer, publisher description <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy1411/2014945262-d.html>

DE BEAUNE S. A., COOLIDGE F. L., WYNN T. 2009, *Cognitive Archaeology and Human Evolution*, Cambridge University Press.

COOLIDGE F. L. 2020, *Evolutionary Neuropsychology: An Introduction to the Structures and Functions of the Human Brain*, Oxford University Press.

COOLIDGE F. L., OVERMANN K. A. 2012, *Numerosity, Abstraction, and the Emergence of Symbolic Thinking*, *Current Anthropology*, 53(2), pp. 204-225.

D'ERRICO F., DOYON L., COLAGE I., QUEFFELEC A., LE VRAUX E., GIACOBINI G., VANDERMEERSCH B., MAUREILLE B. 2017, *From number sense to number symbols. An archaeological perspective*, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 373 (1740).

GESCHWIND D. H., KONOPKA G. 2012, *Neuroscience: Genes and human brain evolution*, *Nature*, 481-482. <http://www.nature.com/articles/nature11380>

GUNZ P., TILOT A. K., WITTFELD K., TEUMER A., SHAPLAND C. Y., VAN ERP T. G. M., DANNEMANN M., Verno B., NEUBAUER S., GUADALUPE T., FERNANDEZ G., BRUNNER H. G., ENARD W., FALLON J., HOSTEN N., VOLKER U., PROFICO A., DI VIINGENZO F., MANZI G., KELSO J., ST POURCAIN B., HUBLIN J. J., FRANKE B., PAABO S., MACCIARDI F., GRABE H. J., FISHE, S. E. 2019, *Neandertal Introgression Sheds Light on Modern Human Endocranial Globularity*, *Curr. Biol.*, 29 (1), pp. 120-127 e125. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.10.065>

MACCIARDI F., MARTINI F. 2022, *The Neandertal Brain: biological and cognitive evolution*. In F. Romagnoli, F. Rivals, S. Benazzi (eds.), *Updating Neanderthals*, Elsevier Monographs, pp. 89-108.

MARTINI F. 2008, *Archeologia del Paleolitico. Storia e culture dei popoli cacciatori-raccoglitori*, Carocci, Roma.

MARTINI F. 2016, *L'arte paleolitica e mesolitica in Italia*, *Millenni. Studi di Archeologia preistorica*, 12, Firenze.

SOMEL M., LIU X., KHAITOVICH P. 2013, *Human brain evolution: transcripts, metabolites and their regulators [Review]*, *Nat. Rev. Neurosci.*, 14 (2), pp. 112-127. <https://doi.org/10.1038/nrn3372>

WYNN T., COOLIDGE F. L. 2022, *An Introduction to Evolutionary Cognitive Archaeology*, Routledge.

NUMERI E MATEMATICA IN EGITTO

Gloria Rosati

All'Ashmolean Museum di Oxford si conserva un oggetto egizio dal forte valore simbolico, benché riproduca una arma letale: la testa di pietra di una mazza, circa una ventina di cm, che è stata decorata a rilievo con una scena di tributo a un sovrano nel corso di una cerimonia solenne. Il sovrano è Narmer, lo si legge nei geroglifici entro il rettangolo sormontato dal falco del dio Horo, con cui il re d'Egitto si identifica: lui potrebbe essere proprio il primo sovrano della I dinastia storica egiziana, intorno al 3050 a.C., o al più l'immediato predecessore, essendo il primo che, originario dell'Alto Egitto, sia raffigurato anche con la Corona Rossa dell'Egitto Settentrionale, come qui. Seduto in trono sotto un padiglione in cima a una gradinata, vede sfilare portastendardi e personaggi, e sotto è scritta in geroglifici l'entità del tributo: "bovini: 400.000; capre: 1.422.000; prigionieri: 120.000".

Non c'è da chiedersi se queste cifre siano vere o verisimili: può essere più probabile che siano state ingigantite per impressionare. Perciò questo oggetto così lontano nel tempo, assieme all'uso sicuro della scrittura geroglifica, reca la testimonianza di un sistema numerico perfettamente formato, ma non in un contesto amministrativo. Non ci sono pervenute finora documentazioni dirette di quella rete di uffici e mansioni che dovevano già essere più che in formazione, a giudicare da quanto rapidamente lo stato faraonico si è assestato: come è noto, più tardi (di sicuro da circa il 2600 a.C., ma molto probabilmente da qualche decennio prima) conti o registrazioni di proprietà o altro da conservare in archivio si è trovato scritto su papiro, che è meno facilmente conservabile. La mazza di Narmer ovviamente è tutt'altro, proviene dal tempio di Hierakonpolis, in Alto Egitto, e dunque si è condotti a un contesto di rituali e celebrazione di chi detiene il potere e della sua importanza. I numeri e la scrittura sembrano avere in Egitto questa particolare connotazione fin dall'inizio e contemporaneamente: tralasciando materiali preistorici particolari, come vasi con marchi impressi o incisi, sulla cui definizione la discussione è tuttora molto aperta, oggetti che recano quasi sicuramente numeri e forse segni di scrittura sono stati trovati nel 1985 nel cimitero detto "proto-reale" di Abido (vicino a quello dove si trovano le tombe di Narmer e dei suoi successori), nella tomba U-j, datata a circa 3300-3250 a.C.. Si tratta di più di un centinaio di segni/iscrizioni dipinte su ceramica, ma soprattutto un duecento piccole etichette per lo più d'osso,

di un paio di cm d'altezza e fornite di un foro per passarci una cordicella, per appenderle, presumibilmente. Vi sono incisi segni di animali, come il falco, l'elefante, un ibis proprio come sarà poi nelle iscrizioni geroglifiche storiche, e i segni della montagna o di piante, anche combinati insieme; ma anche 6, 8, o più tratti distribuiti nello spazio proprio come i numeri, e anche alcuni possibili 100. Per il momento si è ipotizzato che quei 'geroglifici' corrispondano a notazione di toponimi, e i numeri a quantità. Ancora una volta, il contesto funerario (la tomba stessa è un 'monumento') induce a dare a scrittura e numeri un valore di esibizione di importanza, di legittimazione del possesso e del potere.

L'osservazione che quelle particolari etichette erano fatte in serie, o meglio erano iscritte in serie – cioè prima su una lamina di osso o avorio si incidono i segni, ripetendoli alla distanza voluta per quante volte serviva, poi si ritagliavano le piccole etichette rettangolari che li contenevano – rammenta che da tempo gli Egizi mostravano di padroneggiare perfettamente la capacità di suddividere lo spazio utilizzando, in particolare nella decorazione della ceramica, motivi geometrici (triangoli, quadrati, cerchi), simmetrie e 'ritmi' di motivi, e stilizzavano elementi del paesaggio o naturali riducendoli a geometrici – il triangolo per la montagna, per esempio, del resto come poi faranno per la collina primordiale, su cui sorse il Sole il primo giorno di vita del mondo, che è 'geometrizzata' nella piramide.


In quei primi documenti su papiro che si sono ricordati, che per l'appunto riguardano la piramide di Cheope, la più grande e famosa, vediamo un resoconto delle attività legate alla costruzione e al trasporto delle pietre in quello che gli editori hanno chiamato il Giornale o Diario dell'ispettore Merer: nei casi più semplici lo spazio in alto nel rotolo presenta due fasce parallele, in una sono scritte le date, e sotto per ogni giorno sono riservate due colonne con il rendiconto dell'attività. Ma una grande pagina ha già l'aspetto di una tabella del tipo di Excel, e nemmeno delle più semplici!



Sembra inoltre che la capacità di far di conto rapidamente, sommare e sottrarre e forse anche moltiplicare a mente, fosse piuttosto diffusa. Lo si deduce dalla relativa diffusione di giuochi da tavolo: quello della 'scacchiera' è difatti un segno geroglifico molto comune. Si suppone che giuochi molto semplici prevedessero di assegnare un valore numerico a oggetti da lanciare, come gli astragali. Già alla fine del IV millennio si era immaginata una specie di 'bowling da tavolo' con addirittura una piccola porta, con due pali e una traversa, e pedine o birilli di colori e materiali diversi (e diverso valore?), e biglie presumibilmente per colpirli, magari passando dalla porta (?). Per rimanere all'epoca di formazione dello stato, sempre da contesti prevalentemente funerari provengono reperti o raffigurazioni di un giuoco




che ha goduto di un certo successo nel tempo: oggi lo chiamiamo “Gioco del Serpente”, Mehen in egiziano. Era una tavola con un piano a disco di circa un metro di diametro, decorato con un serpente arrotolato su sé stesso, la testa stava al centro e la coda alla fine sulla circonferenza: le spire del corpo erano suddivise in caselle, e su di esse i giocatori dovevano muovere delle pedine. Ricostruire le regole è forse impossibile, anche se viene subito alla mente un nostro Giuoco dell’Oca. Può darsi che i giocatori, forse due, usassero come pedine piccole figure di leoni e leonesse, ma per la verità in certe pitture di tombe sembrerebbero muovere piuttosto delle biglie: in una pittura tarda un giocatore estrae una biglia da un sacchetto, girando ostentatamente la faccia per mostrare che non sta sbirciando. Il ‘Serpente’ è conosciuto sin dalle primissime dinastie, così come la Senet, giocata su una scacchiera con un numero non costante di caselle, su due o tre file, su cui si spostavano pedine. In questo giuoco è assai probabile che si impostassero valori numerici per le varie caselle, che dovevano essere occupate, e poi conteggiate.

Gli Egizi usavano il sistema decimale, come il nostro, e sette segni (geroglifici) in tutto per esprimere unità, decine, centinaia, migliaia, decine di migliaia, centinaia di migliaia e un milione, questo ultimo poi caduto in disuso presto e sostituito da un altro sistema di notazione. Quindi i segni normalmente sono sei. La cifra 0 non era segnata, e di fatto non serviva perché non si usava la posizione del numero per indicare se apparteneva p.es. alle decine o alle centinaia, ma ogni quantità rispettiva era scritta per intero, ripetendo il segno relativo tante volte quante ne servivano per comporla, cominciando dal numero più alto, p.es. le centinaia, e proseguendo con le quantità inferiori: prima perciò, dopo i 100, tutti i segni per 10 che servivano, e poi tutti quelli delle unità, sempre naturalmente fino ad un massimo di 9 volte, siccome per ogni quantità superiore esisteva il segno apposito.

Per le unità è usato un tratto verticale, |, ma anche orizzontale in particolare nelle date; quando i segni sono più di uno, si organizzano i tratti entro la fascia di scrittura, come si fa con i segni geroglifici, quindi anche p.es. una parte in alto nel ‘quadrato’ di scrittura e il resto sotto.

Il 10 è scritto con un segno arcuato in alto, , molto probabilmente una pastoia per animali.

Dello stesso genere, una corda arrotolata, , è il segno per 100. Invece 1000 si scrive con il segno di una pianta, una ninfea o loto, con la sua foglia ben riconoscibile in alto: .

Un dito della mano umana, che appare leggermente piegato in alto, , è il 10.000. Curiosamente, ma forse no, il 100.000 si scrive con il segno del girino, , e per il milione, passato ben presto a indicare una generica quantità grandissima, si usava inizialmente il segno raffigurante un personaggio divino, Heh, , seduto e con le braccia levate in alto in quanto considerato colui che sorregge il cielo. Sulla mazza di Narmer che abbiamo menzionato all’inizio, dunque, il numero delle capre è scritto, da sinistra a destra in questo caso:



1 segno-Heh, 4 segni di girino, 2 segni di dito della mano, 2 segni di loto, ossia:

$$1.000.000 + 4 \times 100.000 + 2 \times 10.000 + 2 \times 1000 = 1.422.000.$$

Oppure, saltando a diversi secoli dopo, circa al 1200 a.C., il totale di un bottino di capi di bestiame e vari animali che Ramesse III dichiara di aver conquistato ai Libici:



2 segni di dito della mano, 8 segni di loto, 3 segni della corda, 3 pastois e 6 unità, cioè 28.336.

Se la scrittura corresse, come è più frequente, da destra a sinistra, naturalmente avremmo le quantità più grandi all’inizio a destra.

Si è detto che il segno per il milione cade in disuso, e difatti viene sostituito da un sistema di moltiplicazione che si trova adoperato anche per altre cifre ‘cospicue’, p. es.:



segno del girino su (= x) 4 unità = 400.000



segno del girino su segno della corda e 1 unità = 101 x 100.000, cioè 10.100.000.

Dei loro numeri gli Egizi non ci hanno mai lasciato scritto il nome, ossia come leggevano quei segni - ideogrammi. Fa eccezione l’1, scolasticamente *wâ*,

scritto col segno di un arpione. Però è stato possibile ricostruirli attraverso l'esito che hanno avuto nel copto, l'ultima fase sia della lingua che della scrittura egizia, che si serve di tutte le lettere greche, comprese le vocali. La resa scolastica, convenzionale, dei loro primi dieci nomi è dunque:

- 1 - *wâ(iu)*
- 2 - *senui*
- 3 - *khemtu*
- 4 - *ifedu/fedu*
- 5 - *diu*
- 6 - *sisu*
- 7 - *sefekhu*
- 8 - *khemenu*
- 9 - *pesedju*
- 10 - *medju*

Sulla base dei numeri cardinali si formavano gli ordinali dal "secondo" in poi, semplicemente aggiungendo alla radice una uscita *-nu*, quindi *sen-nu*, *khemet-nu*, *ifed-nu* ecc. Fa eccezione il "primo", che è *tepy*, propriamente "che sta in cima, alla testa". Gli ordinali erano usati forse nelle date, ma, a parte per certe epoche, non possiamo esserne completamente sicuri, poiché i segni dei numeri mantengono la loro natura di ideogramma, esattamente come oggi.

Sono state riscontrate in generale analogie con i nomi dei numeri nelle lingue camito-semitiche, ma non sempre: per esempio il 3 è tipico dell'egiziano, mentre nelle lingue semitiche un nome affine non indica il 3 ma invece il 5; per il 5 egiziano si è ipotizzata una relazione con il nome della mano e quindi con la definizione della quantità "mannello, manipolo", il fascio che sta in una mano.

Con questi numeri si eseguivano tutte le operazioni aritmetiche. Qualcosa corrispondente alle nostre tabelline da memorizzare non c'era, o forse potevano esserci per il raddoppio, e probabilmente si mandavano a mente i doppi di parecchi numeri, perché erano indispensabili per risolvere moltiplicazioni e divisioni (dei numeri interi), che si somigliavano nel procedimento. Nel caso del moltiplicare, che si diceva "prendere X" o "calcolare con X tot volte", l'operazione p.es. di 17 x 12 sarebbe stata così impostata: due colonne, a sinistra un punto all'inizio, che vale 1, a destra il moltiplicatore 12; entrambi devono essere raddoppiati fino a che nella colonna di sinistra non si raggiunga un numero che, se raddoppiato, supererebbe il moltiplicando, quindi in questo caso ci si ferma a 16. Poi si segnano con un tratto obliquo nella colonna di sinistra i numeri che, sommati, danno il moltiplicando, perciò 16 + 1 (il punto), e sommando le

cifre corrispondenti nella colonna di destra si ottiene: $12 + 192 = 204$, che è appunto il risultato di 17×12 .

/ .	12
2	24
4	48
8	96
/16	192

Per dividere, che era letteralmente “chiamare X (divisore) davanti a Y (dividendo)”, oppure “calcolare con X (divisore) per trovare Y (dividendo)”, si procedeva analogamente. P.es. $148 : 4$: nella colonna di sinistra stessa serie di raddoppi partendo dal punto = 1, e a destra raddoppi partendo dal divisore 4, finché non si superi il dividendo; quindi si segnano le cifre a sinistra che corrispondono a quelle a destra che, sommate, danno il dividendo (qui $128 + 16 + 4 = 148$), perciò $32 + 4 + 1 = 37$.

/ .	4
2	8
/ 4	16
8	32
16	64
/32	128


Quando serva indicare un risultato “0” di una operazione, si riscontra talvolta il segno da leggere nefer, che può significare “giusto (così), bene”, oppure secondo alcuni è da connettere al vocabolo per “svuotamento, esaurimento”. Non è il caso di affrontare l’argomento frazioni, che per i moderni meno versati nella matematica è almeno stupefacente, vista la scioltezza con cui si risolvevano problemi di calcolo considerando solo le singole parti in cui era diviso un intero, ossia le loro frazioni per noi hanno sempre numeratore 1 (a parte $2/3$), ma denominatore anche di diverse cifre! Su queste operazioni è facile immaginare generazioni di studenti attenti a seguire i procedimenti spiegati e illustrati in alcuni famosi documenti, veri e propri manuali che ci sono fortunatamente arrivati, primo fra tutti il Papiro Matematico Rhind, databile a circa il 1550 a.C., ma, come vi si

legge espressamente, copia di un manoscritto risalente a quasi tre secoli prima. Lo si può definire non tanto un manuale teorico, quanto piuttosto un prontuario con la proposizione di problemi e la maniera di svolgerli e risolverli. Non vi si tratta solo di operazioni aritmetiche, magari calate nella realtà (es. come dividere equamente dei pani fra tot persone), ma anche calcoli di misure di capacità, del volume del grano, e geometria, di figure piane e solidi: prevedibile aspettarsi di trovarvi come calcolare l'angolo di pendenza di una piramide...

Per conti più semplici ci si poteva aiutare con le dita, come fanno tutti, e gli Egizi contavano come i loro attuali 'successori' e molti altri nel mondo, partendo non dal pollice ma dal mignolo. Una testimonianza ci viene da un contesto particolare, e grazie alla finezza dell'osservazione di un musicologo del '900, Hans Hickmann. Sulle pareti delle tombe private, nell'Antico Regno e fino al Nuovo Regno, sono raffigurate talvolta scene di danza e di musica, con la presenza di cantanti e di suonatori di strumenti musicali, tipici la lira, il doppio flauto e il flauto lungo. Nelle scene più antiche, talvolta il cantante, ma più spesso un personaggio a parte fa il chironomo, ossia segna il tempo non solo battendosi una mano su una coscia, ma dando indicazioni di ritmo e misure molto precise con l'altra mano, per esempio unendo prima il pollice al mignolo, poi all'anulare e poi al medio.


D'altra parte, già nei Testi delle Piramidi, redatti in scrittura a partire da circa il 2350 a.C., ma probabilmente più antichi, si nomina un "conteggio delle dita" che si deve fare nella parte orientale del cielo, dove il sovrano defunto è diretto. Sembra possibile che sia collegato a questo un brano dei Testi dei Sarcofagi (397), poi anche nel cap. 99 del Libro dei Morti, dove il defunto dimostra di ben saper contare le dita, per poter essere traghettato di là. Quello che dice lascia perplessi, di primo acchito, ma poi ... si scopre che può essere una specie di filastrocca, in cui si celano i numeri. È tutto al genere femminile, molto probabilmente perché, anche quando non nominato, si sottintende sempre l'Occhio, che è femminile in egiziano:

- 1 – Prendi l'una (*wât*),
- 2 – prendi le 'doppie-uno' (duale di *wâ*= 2),
- 3 – sopprimila (*âkhem* > *khemtu*)
- 4 – togli la (*fed* > *ifed*),
- 5 – dal(la) a me (*di* > *diu*);
- 6 – quella che è ben disposta (? O unita?) a me (*sensenet* > *sisu*)
- 7 – non lasciarla andare (*em sefkhekh* > *sefekh*),
- 8 – non risparmiarla (*em khateb* > *khemem*);
- 9 – rendi brillante l'Occhio (*sehedj* > *pesedj*),
- 10 – dai a me l'Occhio! (*mi* > *medj*)


Naturalmente con le vocali è da pensare che l'effetto fosse migliore, e forse c'erano anche rime e assonanze; in ogni caso, non era certo un testo per bambini, anzi, il riferimento all'Occhio rimanda subito ad un episodio del mito che coinvolge gli dèi, ma anche la matematica. L'Occhio è del dio-falco Horo, che è costretto ad ingaggiare una lotta furibonda con suo zio Seth per ottenere quello che gli spetta, il regno sulla terra come erede di Osiride. In uno degli scontri Seth gli strappa un occhio (propriamente il sinistro) e lo frantuma, ma il sapiente dio Thot, signore della scienza, della scrittura e dei numeri, riesce a ricomporglielo e risanarlo. Le parti dell'occhio corrispondono a frazioni che sono usate nelle misure di capacità del grano, e le si scrivono proprio con i segni che raffigurano quelle parti di un occhio umano con in più due appendici che caratterizzano il falco, chiamate ricciolo e mustacchio: .


Perciò si ha:


 metà interna dell'occhio = $\frac{1}{2}$

 pupilla = $\frac{1}{4}$

 sopracciglio = $\frac{1}{8}$

 metà esterna = $\frac{1}{16}$

 ricciolo = $\frac{1}{32}$

 mustacchio = $\frac{1}{64}$

È stato notato che, a ben guardare, la somma di queste frazioni non dà precisamente il totale che ci si aspetta, ma solo $\frac{63}{64}$. Per avere la completezza dell'Occhio occorre trovare la maniera di aggiungere $\frac{1}{64}$, che, a parte pensare a un intervento risolutivo del dio Thot, potrebbe aversi per esempio partendo da un 1 che valga appunto $\frac{1}{64}$.

Ma insomma, una volta tanto potremmo anche accettare che la matematica sia una opinione!

QUANTIFICARE, CONTARE, CALCOLARE IN MESOPOTAMIA
PRIMA DELL'INVENZIONE DELLA SCRITTURA

Stefano Anastasio

La Mesopotamia è un contesto ideale per lo studio dei numeri nell'antichità, grazie soprattutto al fatto che i primi documenti scritti vengono prodotti in questa regione fin dal IV millennio a.C, con larghissimo anticipo quindi rispetto a quanto avvenuto nel resto del mondo, se si eccettua il vicino Egitto. Si tratta di testi che sono in gran parte di natura economica, quindi intrinsecamente connessi all'uso di sistemi numerici, ed è per questo motivo che ricevono da sempre grande attenzione da parte di chi studia l'evoluzione del sistema di conteggio aritmetico e di pensiero matematico.

Le fonti cuneiformi ci permettono di risalire solo fino a un certo punto del nostro passato, appunto alla fine del IV millennio a.C. e furono prodotte da società complesse, se confrontate a quelle neo-, meso- e paleolitiche, in cui peraltro simboli astratti esistevano già. Tuttavia, i numeri, intesi come elementi astratti usati come contrassegni per individuare esattamente le singolarità in un insieme, esistevano anche prima oppure no? André Leroi-Gourhan scrisse che le invenzioni sono il frutto di un *milieu favorable*, ossia una coincidenza di circostanze favorevoli (Leroi-Gourhan 1945). Dobbiamo pensare che siano state le circostanze favorevoli createsi nell'ambito delle società protostoriche mesopotamiche a 'richiedere' l'invenzione dell'aritmetica, ossia dei numeri e del sistema di operazioni con cui combinarli per effettuare calcoli? Oppure, il concetto di numero e la capacità di contare esistevano ed erano organizzati secondo codici condivisi, sia pure elementari, anche precedentemente?

Per cercare di dare una risposta a questa domanda -oppure, come peraltro è forse anche più interessante, per accrescere il numero delle domande che è possibile porsi- occorre rivolgersi anche a fonti diverse da quelle scritte, utilizzando i metodi della cosiddetta 'archeologia cognitiva'. Anche se spesso il limite naturale di questa ricerca è legato al fatto di proporre interpretazioni quasi esclusivamente speculative, nondimeno l'esercizio è sempre degno di essere condotto, ed è comunque l'unico che può permetterci per lo meno di sbirciare, anche solo dal buco della serratura, quel che è successo in periodi così lontani eppure così fondamentali per la nostra storia.

Una necessaria premessa, a questo proposito, riguarda ciò che sappiamo, indipendentemente dal quadro archeologico, della capacità umana di 'quan-

tificare’, ‘contare’ e ‘calcolare’. La ricerca interdisciplinare recente suggerisce che l’Uomo nasca con una capacità innata di quantificare (così come avviene anche per altri animali), ma non di numerare, e che siano molteplici i fattori che hanno contribuito a far emergere una funzione di calcolo e di pensiero matematico: fattori neurologici, linguistici, legati all’uso del corpo, alla cultura materiale.¹ La linguistica in particolare, dimostra che esiste una certa uniformità nella formulazione di parole per esprimere i numeri più bassi, in particolare da 1 a 5, più o meno in tutte le aree geografiche e in tutti i periodi, e che questi termini tendono a variare molto poco nell’evolversi delle lingue, mentre la variabilità aumenta con l’aumentare delle quantità che devono essere espresse.

In quest’ottica, la Mesopotamia antica rappresenta un’area di indagine ideale per cercare di capire cosa sia avvenuto in particolare nella fase immediatamente precedente alla creazione di un sistema aritmetico vero e proprio, e quali siano state le strategie per ‘contare’ al momento di dover affrontare le prime situazioni complesse, che richiedevano la condivisione di codici e linguaggi comuni e, soprattutto, capacità di calcolo (per calcolo si intende l’operazione di manipolare, combinare, concatenare, secondo regole determinate, segni dotati di valore simbolico; non a caso il termine deriva dal diminutivo latino *calculus*, che significa ‘sassolino’, e richiama l’uso antico di contare servendosi di piccole pietre, usate per rappresentare le entità da quantificare numericamente per effettuare il calcolo stesso).

In particolare, è interessante prestare attenzione al fenomeno delle cosiddette cretule/*bullae* e dei *calculi/tokens*, che troviamo in Mesopotamia dallo VIII millennio a.C. Per cretula si intende un grumo di argilla, sulla cui superficie esterna viene impresso un sigillo e che viene poi attaccato, applicandolo direttamente o collegandolo con una corda o altro, a un contenitore il cui contenuto viene così garantito dalla cretula stessa. *Bulla* è in effetti un sinonimo di cretula, anche se col tempo si è affermato l’uso di questo termine per indicare le cretule utilizzate per contenere piccoli oggetti, generalmente in terracotta, più raramente in argilla cruda o in pietra, detti *calculi* o *tokens*, che indicano la quantità e il tipo di oggetti associati alla *bullae* stessa (figg. 1-2).

La cretula/*bullae* quindi, ha funzione fondamentalmente di garanzia e di attribuzione di responsabilità, mentre i *calculi/tokens* sono gli elementi che permettono un’amministrazione contabile dei beni.

¹ Il tema è estremamente vasto; come letture introduttive, ciascuna con ampia bibliografia, si vedano in particolare Beller, Bender 2008, Núñez 2017, Overmann 2018, Schlaudt 2020, Calude 2021.

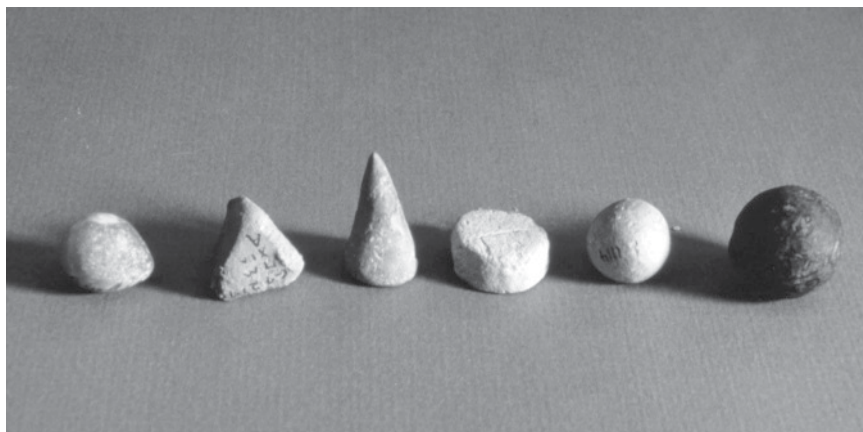


Fig. 1 - Tokens da Tepe Gawra, c. 4.000 a.C (foto per gentile concessione di Denise Schmandt-Besserat)

Il sistema dei *tokens* è particolarmente interessante per due motivi: innanzitutto perché si tratta di oggetti che possono essere utilizzati per il conteggio, ma non è questa la loro funzione esclusiva. In molti contesti archeologici si trovano *tokens* che chiaramente non hanno funzione numerica, bensì rituale, come oggetti usati per offerte, benedizioni o protezione (Palka 2021). Si tratta quindi di oggetti della cultura materiale che esistono *per se*, e che quando vengono utilizzati per una funzione specifica, quale quella del 'contare', influenzano necessariamente l'elaborazione del metodo secondo cui eseguire quella funzione.

Se utilizzati come unità di calcolo, vengono modellati in forme diverse, spesso geometriche e semplici, facilmente riconoscibili e duplicabili. Hanno una funzione semantica, in quanto ogni forma e/o decorazione può avere un significato ben preciso, identificando così qualità e/o quantità. Grazie al successivo sviluppo di questi simboli nella più recente scrittura logografica sumerica, alcuni studiosi hanno proposto convincenti interpretazioni per alcuni casi specifici: ad esempio, un cono e una sfera corrispondono a una quantità di cereali grande e a una piccola, un ovoide rappresenta un'unità di olio e così via (fig. 2).²

² Schmandt-Besserat 2019. Denise Schmandt-Besserat è certamente la ricercatrice che più ha ragionato e scritto su questo tema e, anche le sue interpretazioni non trovano concordi tutti gli studiosi, soprattutto a proposito dell'interpretazione dei *tokens* più complessi, la sua ricostruzione secondo cui essi servissero per il conteggio per scopi amministrativi, in una forma precedente a quella 'scritta', è ormai generalmente accettata.



Fig. 2 - Bulla con token, c. 3700-3200 a.C. (The Schøyen Collection MS 4638. Per gentile concessione di The Schøyen Collection, Oslo and London)

In origine è verosimile che i *tokens* fossero conservati in contenitori deperibili ma, dall'inizio del IV millennio a.C. circa, vengono inseriti all'interno delle *bullae*, su cui è possibile apporre il sigillo di garanzia. Il sistema presenta però l'inconveniente di nascondere i *tokens*, una volta sigillata la *bulla*, e si tenta perciò di superare l'ostacolo imprime le forme dei singoli *tokens* sulla superficie della *bulla* prima che questa indurisca. Non passa molto tempo prima che risulti evidente che, arrivati a questo punto, tanto vale rinunciare ai *tokens* e imprimere direttamente i segni necessari sulla superficie del supporto di argilla da destinare alla registrazione: questo passaggio da una registrazione tridimensionale a una bidimensionale segna un passo fondamentale verso l'invenzione della scrittura, che riconosciamo per la prima volta e con certezza a Uruk, in Mesopotamia meridionale, alla fine del IV millennio a.C.

Fino alla fine del secolo scorso, si considerava la presenza di un sistema amministrativo 'burocratico' come intrinsecamente legata all'affermarsi della forma organizzativa dello 'Stato', ciò che in Mesopotamia si manifesta pienamente solo nella seconda metà del III millennio a.C. In realtà, le ricerche degli ultimi anni hanno dimostrato che il bisogno di amministrare beni comuni, secondo sistemi di gestione complessa, affiorano già in alcune comunità neolitiche della Mesopotamia settentrionale della fine del VII millennio a.C., quando i *tokens* vengono utilizzati chiaramente per il conteggio amministrativo in varie regioni (non in tutte!).

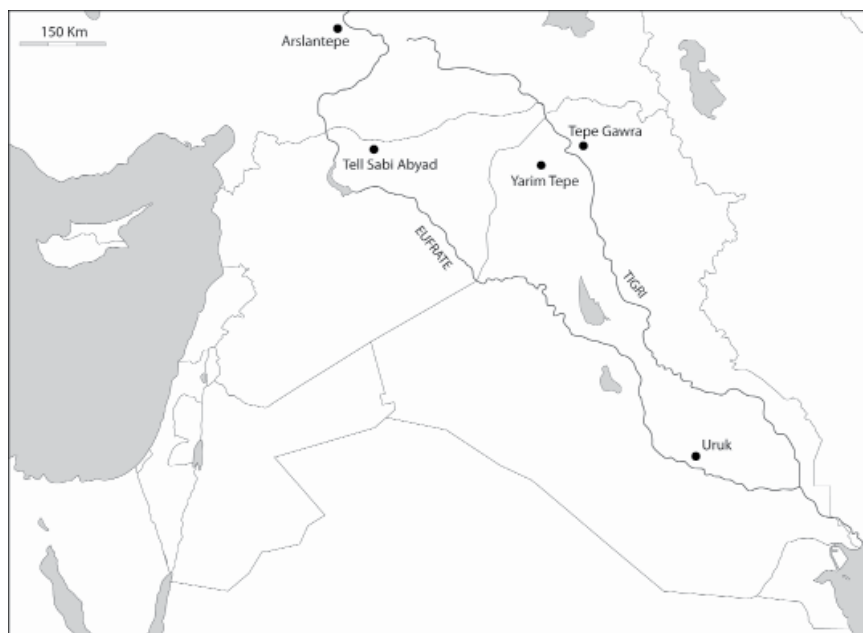


Fig. 3 - Luoghi di ritrovamento dei tokens citati nel testo

In pratica, questo accade laddove le economie sono agro-pastorali e caratterizzate da una notevole mobilità, legata anche alle attività di caccia e transumanza; sorge quindi la necessità di organizzare le economie all'interno di comunità più ampie di quelle del semplice nucleo familiare, sviluppando forme di controllo e amministrazione di beni che, in certa misura, diventano comuni, o perlomeno sono gestiti all'interno di un sistema condiviso da tutta la comunità. Siti come Arslantepe in Turchia, Tell Saby Abyad in Siria, Yarim Tepe in Iraq (fig. 3), hanno restituito impressionanti quantità di cretule e *tokens*, in alcuni casi conservate secondo un preciso disegno amministrativo in strutture chiaramente destinate alla loro conservazione, dimostrando l'esistenza di un sistema che poi evolverà, già nel V millennio a.C., in vere e proprie amministrazioni centralizzate, ruotanti attorno a edifici 'pubblici', che dimostrano una sempre maggiore disparità sociale e una specializzazione nelle competenze da parte di chi deve gestire i beni della comunità.³

³ Sul tema, vastissimo, sono utili letture introduttive quelle di Akkermans, Duistermaat 1996 e Frangipane 2017.

Il sistema delle *bullae* e dei *tokens* è infine importante perché ci aiuta a capire che i numeri sono concetti il cui contenuto, struttura e organizzazione sono influenzati dalle forme materiali utilizzate per rappresentarli e manipolarli. L'uso, attestato anche dall'archeologia, di forme diverse di conteggio (a partire da quelle più elementari rappresentate da oggetti distribuiti, dita, ciottoli e così via) è alla base del meccanismo di elaborazione numerica e delle sue molteplici manifestazioni. Il passo successivo a quello delle *bullae* e dei *tokens* sarà, nella Mesopotamia meridionale della fine del IV millennio a.C., quello dei numeri "scritti". La differenza sostanziale tra la fase delle *bullae* e dei *tokens*, e quella successiva all'introduzione della scrittura, consiste essenzialmente nella possibilità, da parte di quest'ultima, di separare l'informazione relativa alla natura dell'oggetto contato da quella relativa alla sua quantità, laddove con i *tokens* questo non avveniva – o avveniva solo limitatamente. Come recentemente notato da Karenleigh A. Overmann, le notazioni scritte daranno ai numeri

... attributi di entitività e concisione, consentendo la creazione di tabelle relazionali, facilitando l'uso delle relazioni nel calcolo e trasformando i numeri in un sistema relazionale complesso. La scrittura non numerica veniva usata per fornire le istruzioni per manipolare i numeri, consentendo alle operazioni di diventare esplicite, codificate e più complesse. Nessun'altra invenzione ha avuto un impatto paragonabile, anche se strumenti come i computer e le reti hanno recentemente reso la scrittura un sistema sempre più veloce e capace di raccogliere, immagazzinare, richiamare, distribuire, analizzare, riorganizzare, trasformare e calcolare le informazioni⁴.

Ma, da qui in poi, è davvero tutta un'altra 'storia'!

⁴ Tradotto dall'originale inglese in Overmann 2019, p. 229.

- AKKERMANS, P.M.M.G., DUISTERMAAT, K. 1996. *Of storage and nomads. The sealings from the Late Neolithic Sabi Abyad*, in *Paléorient* 22/2, pp. 17-32 (https://www.persee.fr/doc/paleo_0153-9345_1996_num_22_2_4635).
- BENNISON-CHAPMAN L. 2023. *Bookkeeping without writing: Early administrative technologies in context (PIHANS 134)*, Leuven, Peeters 2023.
- BELLER S., BENDER A. 2008. The limits of counting: numerical cognition between evolution and culture, in *Science* 319, pp. 213-215 (doi.org/10.1126/science.1148345).
- CALUDE A.S. 2021, *The history of number words in the world's languages – what have we learnt so far?*, *Philosophical Transactions R. Soc. B* 376, pp. 1-5 (doi.org/10.1098/rstb.2020.0206).
- FRANGIPANE M. 2016, *The origins of administrative practices and their developments in Greater Mesopotamia. The evidence from Arslantepe*, in *ARCHÉO-NIL* 26, pp. 9-32 (<https://www.academia.edu/93917833>).
- LEROI-GOURHAN A. 1945. *Milieu et techniques (Évolution et techniques, vol. 2)*, Paris, Albin Michel.
- LIVERANI M. 1988. *Antico Oriente. Storia società economia*, Roma-Bari. Laterza (in particolare pp. 128-135).
- MELVILLE D.J. 2018, *Computation in Early Mesopotamia*, in A. Volkov, V. Freiman (a cura di) *Computations and computing devices in mathematics education before the advent of electronic calculators (Mathematics Education in the Digital Era, vol 1)*, Berlin, Springer (doi.org/10.1007/978-3-319-73396-8_2).
- NÚÑEZ R. 2017, *Is there really an evolved capacity for number?*, in *Trends in Cognitive Sciences* 21/6, pp. 409-424 (doi.org/10.1016/j.tics.2017.03.005).
- OVERMANN K.A. 2018. *Constructing a Concept of Number*, in *Journal of Numerical Cognition* 4/2, pp. 464–493 (doi.org/10.5964/jnc.v4i2.161).
- OVERMANN K.A. 2019, *The Material Origin of Numbers. Insights from the Archaeology of the Ancient Near East*, Gorgias Press (doi.org/10.31826/9781463240691).
- PALKA J. 2021, *Not just counters: Clay tokens and ritual materiality in the Ancient Near East*, in *Journal of Archaeological Method and Theory* 28, pp. 414–445 (doi.org/10.1007/s10816-020-09457-8).
- POWELL M.A. 1995, *Metrology and mathematics in Ancient Mesopotamia*, in J.M. Sasson (a cura di), *Civilization of the Ancient Near East*, New York, Hendrickson Publishers, pp. 1941-1957.
- PROUST C. 2008, *Les mathématiques*, in P. Bordreuil, Fr. Biquel-Chatonnet, C. Michel (a cura di), *Les débuts de l'histoire*, Paris, La Martinière, pp. 285-289.
- ROBSON E. 2000, *Mesopotamian mathematics: Some historical background*, in V. Katz (a cura di), *Using history to teach mathematics: An international perspective*, Cambridge (UK), Cambridge University Press, pp. 149-158 (<http://uruk-warka.dk/mathematics/ER10%20background.pdf>).
- SCHLAUDT O. 2020, *Type and token in the Prehistoric origins of numbers*, *Cambridge Archaeological Journal* 30:4, pp. 629–646 (doi.org/10.1017/S0959774320000165).
- SCHMANDT BESSERAT D. 2019, *The invention of tokens*, in A. Crisà, M. Gkikaki, Cl. Rowan (a cura di), *Tokens, culture, connections, communities*, Tarxien, Gutenberg Press, pp. 11-17 (<https://sites.utexas.edu/dsb/files/2021/02/Coventry-2019.pdf>).

SCHMANDT BESSERAT D., GLASSNER J.-J., FRI-
BERG J., ENGLUND R. 2001, *Vicino Oriente an-
tico. L'origine della scrittura e del calcolo*, in

Treccani. Enciclopedia on line: Storia della
scienza ([https://www.treccani.it/enciclo-
pedia](https://www.treccani.it/enciclo-
pedia)).

SITOGRAFIA

*Before Pythagoras: The Culture of Old
Babylonian Mathematics (mostra, New York
University, 2010-2011):*

[https://isaw.nyu.edu/exhibitions/before-
pythagoras/](https://isaw.nyu.edu/exhibitions/before-
pythagoras/)

*Bibliography of Mesopotamian Mathemat-
ics:*

[http://uruk-warka.dk/news/02-2014/
Bibliography%20of%20Mesopotamian%20
Mathematics.pdf](http://uruk-warka.dk/news/02-2014/
Bibliography%20of%20Mesopotamian%20
Mathematics.pdf)

Tokens — Denise Schmandt-Besserat:
<https://sites.utexas.edu/dsb/tokens/>

Mathematics – Schøyen Collection:
[https://www.schoyencollection.com/
mathematics-collection](https://www.schoyencollection.com/
mathematics-collection)

*The Esagil tablet, Mesopotamian math-
ematics:*

[https://archeologie.culture.gouv.fr/
orient-cuneiforme/en/mesopotamian-
mathematics](https://archeologie.culture.gouv.fr/
orient-cuneiforme/en/mesopotamian-
mathematics)

MATEMATICA E GEOMETRIA NELL'ASIA OCCIDENTALE ANTICA

Giulia Torri

La bellissima tavola Plimpton 322, giunta attraverso un dono di G.A. Plimpton alla collezione *Rare Book and Manuscript Library* della Columbia University è uno dei più citati esempi delle capacità matematiche dei babilonesi (fig. 1). La tavola risale al 1800 a.C., forse proviene dall'antica città di Larsa e conserva sul recto un sistema di numeri scritti in sequenza sessagesimale e associati a equivalenti decimali, suddivisi su quattro colonne di quindici righe ciascuna. Il verso della tavola conserva invece una serie di forme triangolari. Secondo alcuni studiosi la tavola consiste in un insieme di esercizi utili alla risoluzione di quelle che oggi chiameremmo equazioni di secondo grado, secondo altri si tratterebbe di una tabella di terne pitagoriche. A prescindere dalle difficoltà di interpretazione per gli studiosi moderni, essa è la testimonianza di come i numeri venissero scritti, studiati e utilizzati per risolvere problemi di vario tipo.

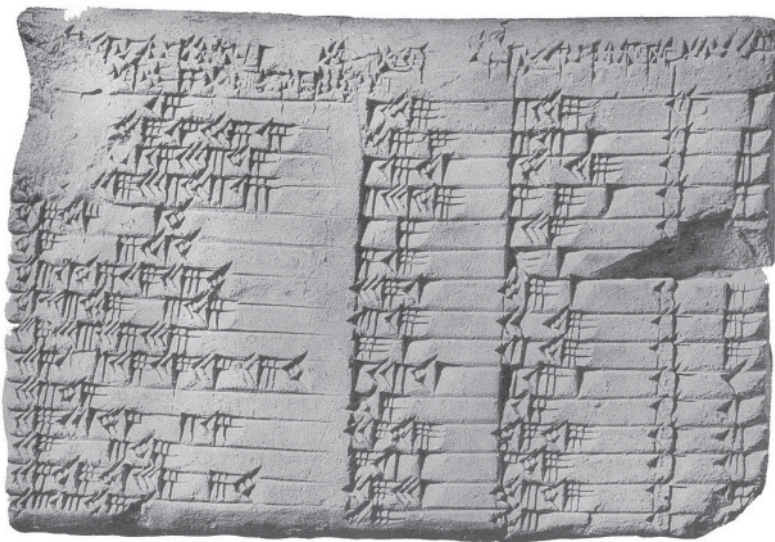


Fig. 1 - Tavola matematica Plimpton 322 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plimpton_322.jpg)





A partire dalla metà del IV millennio a. C. nell'area dell'Asia occidentale (tradizionalmente definita antico Oriente) nasce l'uso della contabilità numerica, associata alla nascita della scrittura cuneiforme, che si sviluppa per oltre tre millenni nell'area compresa tra i fiumi Eufrate e Tigri, la Mesopotamia delle fonti classiche, nell'attuale Iraq. In particolare, nella bassa Mesopotamia, l'antica terra di Sumer, nascono sistemi di contabilità, che si servono di oggetti di piccole dimensioni, tokens impressi sull'argilla, che rappresentavano quantità standard e beni di consumo immagazzinati. Nella stessa area, tra III e II millennio, comincia ad essere adottato un sistema di notazione numerica posizionale di tipo sessagesimale che si diffonde insieme alla grafia cuneiforme a tutta l'Asia occidentale, toccando a nord l'attuale Turchia, a ovest la fascia siriano-palestinese, dove tavolette di natura matematica, oltre che una gran quantità di testi amministrativi, si ritrovano nell'antica città di Ebla già nel III millennio, e ad est, oltre la catena montuosa degli Zagros, nell'altipiano iranico. Accanto all'uso pratico della contabilità si sviluppa la riflessione matematica sull'uso dei numeri e sulle loro potenzialità nella descrizione di vari aspetti della realtà. Scribi e amministratori, stimolati dalla necessità di istruire all'uso dei numeri e alla pratica dei calcoli matematici più complessi per gestire l'amministrazione in cui erano impiegati, danno vita alla riflessione sulla matematica "pura" arrivando a creare nel tempo problemi di algebra astratta, una forma approssimativa del calcolo della radice quadrata di due, un sistema di calcolo geometrico basato sull'area del triangolo rettangolo, che troverà una formulazione più tarda nel Teorema di Pitagora. Nel corso del primo millennio si arriverà infine all'uso della matematica per descrivere svariati fenomeni astronomici.

Dopo una prima fase in cui numeri e quantità sono piccoli oggetti impressi sull'argilla, gli antichi popoli della Mesopotamia svilupparono il sistema di scrittura oggi chiamato cuneiforme, imprimendo uno stilo su tavolette di argilla umida che poi venivano fatte seccare al sole.

Il sistema numerico si sviluppò in modo analogo: il numero 1 era rappresentato da un segno cuneiforme verticale e i seguenti numeri fino a 9 erano costruiti ripetendo quel segno fino a nove volte:

								
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Il segno 10 era rappresentato da quello che si chiama "testa di cuneo" e i numeri da 20 a 50 erano scritti come multipli di quel segno.

			
10	20	30	40

I numeri erano scritti da sinistra a destra e occupavano nella sequenza una posizione fissa.

Uruk, la prima città della Storia

Nella seconda metà del IV millennio la città di Uruk, nel sud dell'Iraq, nella terra di Sumer, arrivò a coprire una superficie di 250 ettari, a cui si aggiungevano 280 ettari di territorio circostante (Liverani 1988). Non è un caso che nella Babilonia del I millennio la sua grandezza viene ancora percepita dalle genti babilonesi e con queste parole è descritta nel poema dell'eroe Gilgameš, il re di Uruk, colui che vide ogni cosa:

Sali sulle mura di Uruk e percorrile, ispeziona le fondamenta, scrutane i mattoni: non è forse vero che sono mattoni cotti? Non sono stati i sette saggi a porre le sue fondamenta? Un miglio quadrato (1 šar) è la città, un miglio quadrato sono i suoi orti (1 šar), un miglio quadrato (1 šar) sono le sue cisterne oltre alle terre del tempio di Ištar. Per tre miglia (3 šar) quadrate si stende Uruk senza contare i suoi terreni agricoli¹.

Questa aggregazione urbana già a quell'epoca (livello archeologico Uruk IV), con il suo imponente impianto templare, aveva sviluppato un sistema per la gestione dell'amministrazione che avveniva attraverso l'uso di tokens di argilla, destinati alla registrazione di quantità dei realia di uso quotidiano, nei vari contesti economici necessari alla vita stessa della città. Gradualmente nella stessa Uruk emergono supporti destinati alla gestione amministrativa che, nel corso della fase Uruk III, intorno all'inizio del III millennio a.C., recano contemporaneamente sigillature identificative dell'ufficio o dell'amministratore, indicazioni quantitative e simboli grafici rappresentanti i beni da gestire, ricorrendo a un sistema simbolico ormai standardizzato. Accanto all'uso pratico dei numeri si cominciò a formare anche la necessità di istruire gli amministratori che a vario livello si dovevano occupare di

¹ Trad. G. Pettinato, *La saga di Gilgamesh*, Milano 1992, p. 124.



Fig. 2 - Tavoleta amministrativa da Uruk relativa a quantità di orzo e malto, MET 1988.433.3 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cuneiform_tablet-_administrative_account_with_entries_concerning_malt_and_barley_groats_MET_DP293245.jpg)

contabilità. Si creano liste lessicali che rappresentano e riassumono in maniera organizzata il mondo in funzione del suo uso economico. Oltre alle quantità di beni prodotti e commerciati, si registrano le persone coinvolte nei vari processi lavorativi, e dunque pagate per le loro attività in maniera costante su base giornaliera. Diventa fondamentale gestire i tempi di lavoro e avere un computo del tempo che vada oltre la singola giornata lavorativa. L'anno viene diviso in 360 giorni, divisi a loro volta in 12 mesi di 30 giorni ciascuno, in cui si inseriscono giorni intercalari festivi. Tempo, spazio e quantità sono organizzate secondo il sistema sessagesimale (a base 60) che rimarrà la misura fondamentale nella Mesopotamia, pur affiancato in epoca successive dal sistema decimale (Liverani 1998, pp. 83-86). Già in questo periodo proviene da Ebla, nella Siria del nord, un testo matematico a base decimale. Tra le 5000 tavolette risalenti a questa antica fase storica di Uruk, la maggior parte contiene dati quantitativi e poco altro. Alcuni testi possono essere identificati, tuttavia, come esercizi scribali di matematica più che registrazioni reali di calcoli legati alla vita quotidiana. In queste tavolette i dati numerici e quantitativi non sono realistici, i testi non riportano sigillature identificative dell'ufficio, né notazioni di tipo calendariale come invece accade per i testi di uso pratico (fig. 2).

Fino al 2400 a.C. non si può parlare di composizione di testi a puro scopo matematico. La necessità di contare e misurare è strettamente legata alle esigenze burocratiche dell'amministrazione di città come Uruk. La nascente riflessione di tipo matematico cominciò ad affermarsi attraverso l'uso di concetti che avevano un riscontro nella vita pratica come la divisione di quantità di grano e il calcolo dell'area dei campi. Alla fine del III millennio almeno nella bassa Mesopotamia, il sistema sessagesimale diventa predominante: i testi matematici si distinguono in testi metro-matematici, nei quali si svolgono esercizi relativi a misurazioni, e testi di misurazione dei campi, in cui si calcolano aree di appezzamenti di terreni da suddividere tra più funzionari. La riflessione matematica si avvia a divenire astratta anche per la necessità di formulare previsioni di produttività su larga scala che richiedono competenze scribali in ambito matematico e geometrico sempre più avanzate.

La scuola paleobabilonese e la rivoluzione matematica

All'inizio del II millennio, tra il 1900 e il 1600, la matematica ha uno sviluppo sorprendentemente rapido nella bassa Mesopotamia. La maggior parte dei ritrovamenti vengono dalle città di Ur, Nippur e Sippar. Uno dei fattori determinanti è l'invenzione di un sistema di notazione posizionale, per cui uno stesso simbolo ha valore diverso se scritto prima o dopo di altri. Non abbiamo prove che gli scribi della bassa Mesopotamia utilizzassero abachi, tuttavia questo è molto probabile, in primis perché il sistema di notazione stesso deriva dall'uso dei tokens del IV millennio. Inoltre tutti i testi che abbiamo, riportano direttamente i risultati delle operazioni di addizione e moltiplicazione, anche se molto complicati, senza dare spiegazione del procedimento. In questo periodo furono prodotti migliaia di testi a carattere matematico che possono essere considerati esercizi e testi di istruzione. Non esistono trattati e spiegazioni astratte dei procedimenti: gli scribi imparano la matematica e la geometria attraverso la ripetizione di problemi pratici che riportano operazioni di carattere quotidiano come il conteggio di mattoni, il riempimento di contenitori, lo scavo di canali o la costruzione di fortificazioni. Le tavole matematiche più diffuse riportano problemi di moltiplicazioni, ripetizioni e calcoli di radici quadrate e liste di numeri reciproci o inversi. Le tavole geometriche propongono problemi banali, come trovare l'area di un rettangolo partendo dalla misura nota dei lati, oppure, partendo dall'area per calcolare i lati del rettangolo o ancora la sua diagonale: per esempio in una delle prime tavole riconosciute come esempi di problemi matematici si legge: *"Se un cancello ha altezza 0,40 cubiti e la diagonale misura 0;41 15, qual è la larghezza?"* o ancora si legge



Fig. 3 - YBC7289. Tavoletta paleobabilonese, 1900-1600 a.C. (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:YBC-7289-OBV-REV.jpg>)

sulla stessa tavola: "La larghezza è di 2 cubiti, l'altezza di 0,40 cubiti. Qual è la sua diagonale?" (Tavola BM 96957, oggi al British Museum). Alcune tavole riportano intere righe di esercizi geometrici, ripetuti più volte a scopi didattici, semplicemente cambiando i dati numerici, come in un'antica tavola da Sippar (BM 80209, oggi al British Museum):

Se l'area è 8 20, qual è la circonferenza?

Se l'area è 2 13 20, qual è la circonferenza?

Se l'area è 3 28 20, qual è la circonferenza?

Se l'area è 5, qual è la circonferenza?

All'area del cerchio aggiungere 1/2 di lunghezza: 8 25.

Dall'area del cerchio togliere 1/2 di lunghezza: 8 15.

All'area del cerchio aggiungere 1 di lunghezza: 8 30.

Dall'area del cerchio prendere 1 di lunghezza: 8 10.

All'area del cerchio aggiungere 1 e 1/3 di lunghezza: 8 33 20.

Le tavole che riportano problemi sono tra le più numerose, possono riportare anche la soluzione o metodi per svolgere il problema (fig. 3).

A partire da questo periodo, più che nelle fasi storiche precedenti, la cultura cuneiforme si diffonde in tutta l'Asia occidentale e insieme a questa la capacità di calcolo matematico che trova le sue applicazioni in ogni campo del sapere. La capacità di saper contare, così come la misurazione del tempo e dello spazio è avvertita dalle stesse popolazioni della Mesopotamia come qualcosa di particolarmente eccezionale, tanto che queste capacità diventano strumenti letterari per suscitare impressione di grandezza e durata, così come nell'undicesima tavola del poema babilonese di Gilgameš, re di Uruk. Nel descrivere come si fosse salvato alle acque del diluvio, il saggio Utanapištim descrive a Gilgameš il progetto della nave costruita su consiglio del dio Ea, divinità della saggezza per salvarsi dall'imminente catastrofe:

Al quinto giorno disegnai lo schema della nave; la sua superficie era grande come un 'campo', le sue pareti erano alte 120 cubiti. Il bordo della sua copertura raggiungeva anch'essa 120 cubiti. Io tracciai il suo progetto, feci il suo modello: Suddivisi la superficie in 6 compartì, la innalzai fino a 7 piani. La sua base suddivisi per 9 volte².

² Trad. G. Pettinato, *La saga di Gigamesh*, Milano 1992, pp. 217-218.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

FRIBERG J. 2001, *Vicino Oriente. La Matematica. Storia della Scienza* (Vicino Oriente antico. La matematica in "Storia della Scienza" (treccani.it). Ultimo accesso 19/02/2023).

LIVERANI M. 1988, *Uruk. La prima città della Storia*, Laterza, Roma-Bari.

PETTINATO G. 1992, *La saga di Gilgamesh*, Rusconi, Milano.

ROBSON E. 2002, *Words and Pictures: New Light on Plimpton 322*, *American Mathematical Monthly*, 109, pp. 105-120.

ROBSON E. 2008, *Mathematics in Ancient Iraq. A Social History*, Princeton University Press, Princeton.

L'ENIGMA DELLE "TAVOLETTE ENIGMATICHE"

Lucia Sarti

Una riflessione sull'origine del pensiero numerico non può non proporre una riflessione sulle cosiddette "tavolette enigmatiche", note anche come *Brotlaibidole* (in tedesco, "idoli a forma di pane"). Sono oggetti realizzati soprattutto in terracotta, più raramente in pietra e in osso, di forma ovoidale, subrettangolare, circolare, eccezionalmente subtriangolare, tutte di scarso spessore, sui quali sono stati impressi o incisi dei segni molto semplici, ad esempio punti, linee, croci, cerchielli, segni cruciformi, motivi geometrici (fig. 1; tav. 8).

Dove e quando

Le tavolette enigmatiche sino ad oggi segnalate sono più di 300, circa 140 in Italia con una concentrazione particolare in Lombardia. Si rinvencono all'interno degli insediamenti variamente strutturati: palafitte, abitati in altura, siti fortificati, ripari sotto roccia; spesso sono localizzate in aree con tracce di attività artigianali specializzate, tra le quali frequenti sono quelle legate alla lavorazione del metallo. Ampia è la loro diffusione in Europa centro-orientale, l'Italia centrale tirrenica e la Corsica ne costituiscono verso sud il limite territoriale di diffusione (fig. 2; tav. 9).

Risalgono alla Preistoria recente, nella fase della Antica e Media età del Bronzo ovvero alla fine del III millennio a.C. e alla prima metà del II millennio. La loro cronologia per quanto riguarda l'Italia è definita con precisione da alcuni contesti che hanno fornito datazioni al C¹⁴, ad esempio in Lombardia Lavagnone (1916-1800 a.C.), Lucone di Polpenazze (1985-1978 a.C.), in area fiorentina Lastruccia 3 (2260-2140 a.C.) ha dato una delle date più antiche.

I segni: un codice simbolico?

I segni sono disposti in sintassi organizzate per lo più lineari, localizzate su una o talora su entrambe le facce e generalmente trasversali al lato lungo del supporto. L'intera superficie dei supporti è interessata dai segni che creano un effetto di "tutto pieno".

La variabilità dei segni è ampia, sia come motivo singolo sia come loro organizzazione e associazione. Alcuni esempi: linee parallele che attraversano



Fig. 1 - Tavole enigmatiche europee (da Piccoli, Laffranchini 2011)

la superficie della tavoletta disposte in una regolare scansione ritmica; file di profondi punti impressi che hanno una loro regolarità numerica; segni triangolari, rettangolari e puntiformi abbinati lungo linee parallele.

La tipologia dei segni si ripete in modo più o meno omogeneo in tutta Europa, anche se alcune zone privilegiano alcuni repertori. È il caso di tavolette della Francia sudorientale e della Svizzera, intorno al lago di Costanza, che costituiscono un insieme omogeneo risalente ad un momento avanzato del Bronzo antico. Altre zone con caratteri specifici sono, ad esempio, quella europea orientale, la media valle del Rodano, l'Italia settentrionale. Nel sud della Francia tavolette circolari prive di segni sono di dubbia interpretazione, così come problematiche sono alcune rondelle segnalate in Italia in area veronese recanti motivi esuberanti oppure figurativi.

L'ampio "alfabeto" segnico europeo trova un denominatore comune nella sinteticità e nella schematizzazione dei segni che si percepiscono come "unità" lineari o come abbinamento di più linee. La costruzione schematica dell'immagine unita all'effetto di "tutto pieno" crea un'immagine statica, rigida, congelata nella fissità dei singoli segni e della costruzione medesima.

In estrema sintesi, il segno diventa "simbolo" che deve richiamare alla mente di chi lo osserva e di chi usa la tavoletta un codice interpretativo ben noto all'interno della comunità. La ricorrenza, la disposizione e l'associazione dei segni e delle sintassi, unite alla morfologia e alle dimensioni abbastanza standardizzate, sembrano dare alle tavolette una valenza condivisa su ampio areale con un significato che supera l'effetto semplicemente decorativo dei segni per far trasparire la presenza di uno o più codici comunicativi, che non sono stati ancora interpretati.

"Tavolette" per chi? Per cosa?

Il codice (o i codici: in alcuni casi le incisioni sembrano fare riferimento a sistemi diversi) sembra variare in rapporto al numero di linee e di segni praticati, alla variazione e all'associazione dei segni sulla stessa tavoletta e anche su esemplari diversi. Studi di dettaglio sulle tipologie e sulle loro associazioni hanno fatto ipotizzare che le diversità e le originalità potrebbero avere una valenza geografica, potrebbero cioè caratterizzare specifiche aree europee, oppure potrebbero anche indicare più sistemi di notazione e quindi possedere più significati.

Per queste tavolette sono state avanzate diverse ipotesi, che vengono qui illustrate, nessuna è più convincente delle altre, quindi per il momento l'enigma continua.

Gli studiosi sono d'accordo nell'attribuire alle tavolette enigmatiche il valore di uno strumento di registrazione, forse un legame col pensiero numerico. Per registrare merci o prodotti di scambio? Quali? Questo è un altro problema. Un sistema di conteggio nelle comunità agricole-pastorali? Possono essere connesse a pratiche di scambio su lunghe distanze ad opera di artigiani e mercanti? Il dato storico-archeologico, ripetiamo, porta a ipotizzare con buona probabilità che i segni siano un sistema convenzionale di comunicazione (il "codice"), tra le ipotesi più probabili rimane quella che essi siano un sistema di annotazioni, forse di conteggio.

Non si possono escludere anche valenze simboliche di tipo culturale, sebbene nulla al momento (soprattutto i luoghi di ritrovamento e le associazioni con altre produzioni) fornisca indizi in tal senso. Nel sito di Tartaria in Romania, decisamente più antico (metà del VI millennio a.C., cultura neolitica di Vinča), alcuni oggetti che hanno con le tavolette analogie formali e di materia prima fanno propendere per una loro funzione rituale, in quanto sono state rinvenute in un pozzetto insieme a 26 statuette femminili in argilla e a 2 in alabastro, indicatori usuali nel Neolitico europeo e non solo delle metafore femminili (donne, dee, madri...), statuette sulle quali sono stati riprodotti segni simili a quelli delle tavolette (e anche delle ceramiche d'uso). In sintesi, non è l'omomorfia del segno e dell'oggetto che diventa un indicatore primario quanto il contesto di uso e di rinvenimento.

La funzione delle tavolette come mezzi di registrazione è stata avvicinata con le dovute differenze ai sistemi mesopotamici del IV millennio a.C., vale a dire ai *tokens*, anch'essi in argilla, in questo caso chiaramente attribuiti ad atti di registrazione; il richiamo a più o meno coeve civiltà orientali ha riguardato anche proposte di analogie con più tardi sistemi di tavolette numeriche o pittogrammi. È necessario tenere presente in questi richiami ai sistemi di registrazione del Vicino Oriente Antico (si vedano in questo volume i contributi di Giulia Torri e di Stefano Anastasio) il sistema sociale complesso e articolato di quelle comunità Vicino-orientali, che tra l'altro arrivano precocemente alla scrittura cuneiforme alla fine del IV millennio a.C., comunità che sentivano la necessità della registrazione ai fini del controllo delle diverse produzioni, degli scambi e delle prestazioni comunitarie, all'interno di un'organizzazione sociale non attestata in Europa. Nel caso delle tavolette europee, per esempio, non sappiamo quanto questo sistema di registrazione, qualora in via ipotetica esistente, condizionasse o meno il controllo degli scambi e delle produzioni. È possibile, anzi probabile, come è stato osservato, che presso le comunità dell'età del Bronzo, anche europee, esistessero altri codici computazionali (segni grafici, pittorici) deperibili che non si sono conservati. La produzione

di supporti in terracotta e in pietra potrebbe aver avuto origine dalla opportunità di rendere più duraturo nel tempo questo strumento, destinato a formalizzare e diffondere un codice condiviso.

Indicatori di percorsi di scambi e contatti?

In alcune regioni europee i rinvenimenti di tavolette sono più numerosi: è il caso in Italia della zona meridionale del lago di Garda all'interno dei sistemi abitativi palafitticoli, in Austria, in Bavaria, nella Repubblica Ceca, in Moravia e Slovacchia (fig. 2; tav. 9). Il fatto che la maggiore quantità di tavolette sia in Lombardia, soprattutto nell'area benacense, ha fatto ipotizzare ad alcuni studiosi che alcune tipologie abbiano avuto qui la loro origine per poi diffondersi Oltralpe.

La distribuzione delle tavolette non è omogenea nemmeno nello stesso ambito territoriale; ad esempio, in provincia di Trento nel sito palafitticolo di Fivè le tavolette mancano, mentre ben 14 esemplari sono stati rinvenuti nel vicino sito di Ledro. Ci potremmo quindi domandare se la presenza di questi particolari oggetti non sia strettamente collegata ad una loro funzione specializzata molto utile all'interno di comunità solidamente inserite in reti differenziate di contatti e scambi, anche su lunga distanza.

È un dato assodato che le tavolette enigmatiche siano inserite in ampi network di scambi di conoscenze, di modi di vita e certo anche di beni, collegamenti che sono rintracciabili in diverse aree geografiche, anche in punti di passaggio che individuano percorsi su grandi distanze. Si tratta di percorsi che attraversano le Alpi, legati a contesti culturali che, parallelamente alla formazione e allo sviluppo di strategie economiche, insediative e produttive proprie ed originali, condividono comportamenti, rituali funerari e artigianati (ceramici, metallici, in osso e corno, in pietra), come mostrano chiaramente le analogie dei documenti archeologici su vaste aree.

In questo quadro di relazioni, è stimolante l'ipotesi che potrebbe collegare la scomparsa delle tavolette allo sviluppo delle influenze e delle reti di scambio con il Mediterraneo orientale e con l'Egeo, in un ambito che possiede sistemi di comunicazione ben sviluppati durante le fasi media e recente dell'età del Bronzo a partire dalla metà del II millennio a.C.

Alla periferia dell'Europa: le tavolette enigmatiche in area fiorentina

L'area fiorentina, che ha restituito alcune tavolette enigmatiche, è inserita in ampie reti di scambi e circolazione di conoscenze. Già a metà del III millennio a.C. la piana fiorentina all'interno del bacino di Firenze-

Prato-Pistoia è profondamente inserita nella diffusione della cultura del Vaso Campaniforme, una cultura paneuropea dell'età del Rame che oggi definiremmo "globale" in quanto diffonde su ampie latitudini conoscenze, modelli funerari e produttivi, valori sociali. In area fiorentina essa ha portato ad un forte sviluppo demografico (lo dimostrano le indagini archeologiche soprattutto nel circondario di Sesto Fiorentino). Il Campaniforme europeo ha incrementato le relazioni culturali e gli scambi su lunga distanza, avviati già nel Neolitico, collegando l'Italia centrale e settentrionale sia ad ambienti occidentali (soprattutto Francia meridionale) sia, in un secondo momento verso la fine del III millennio, all'Europa centro-orientale. L'area fiorentina appare così inserita nel Campaniforme che qui mette radici e trasmette input produttivi anche nella successiva età del Bronzo. Non si perdono i contatti già avviati con le citate aree europee e le tavolette fiorentine risalenti all'antica età del Bronzo, poche ma significative, potrebbero testimoniare la persistenza di circuiti di comunicazione transalpini anche dopo l'esaurimento del Campaniforme. Sono quattro gli insediamenti che hanno restituito tavolette enigmatiche (Podere della Gora 4, Fosso di Lumino, Lastruccia 3, Filettole di Prato), nelle quali si colgono strette assonanze con il repertorio francese e svizzero (fig. 3; tav. 10). In particolare, va segnalato che l'esemplare di Filettole documenta il permanere di questi oggetti fino all'inizio del Bronzo Medio, come accade nel resto d'Europa.

L'enigma continua

Il lettore avrà compreso, visti anche i punti interrogativi che titolano i singoli paragrafi di questo testo, che è proprio la difficoltà di interpretazione di questi oggetti che ha portato gli archeologi a definirli "enigmatici" e ad adottare ancora oggi questo termine: essendo l'archeologia preistorica priva di fonti scritte che spiegano gli eventi, sono gli oggetti e i manufatti a dover indicare la loro funzione. E in questo caso le tavolette non sono molto loquaci.

Gli studiosi sono d'accordo nell'attribuire alle tavolette enigmatiche il valore di uno strumento di registrazione, forse anche un legame col pensiero numerico, costruito su un codice di comunicazione grafica che non è oggi decifrabile. L'esistenza in Europa di un pensiero numerico durante l'età del Bronzo sarebbe documentata anche da pesi in pietra che sembrano fare riferimento ai sistemi ponderali in uso nel Mediterraneo orientale.

Il sistema delle tavolette, sia pure variato nei segni e nelle loro associazioni, rimane una procedura di comunicazione semplice che trova la sua identità in un contesto storico e culturale specifico dell'età del Bronzo, nell'arco di

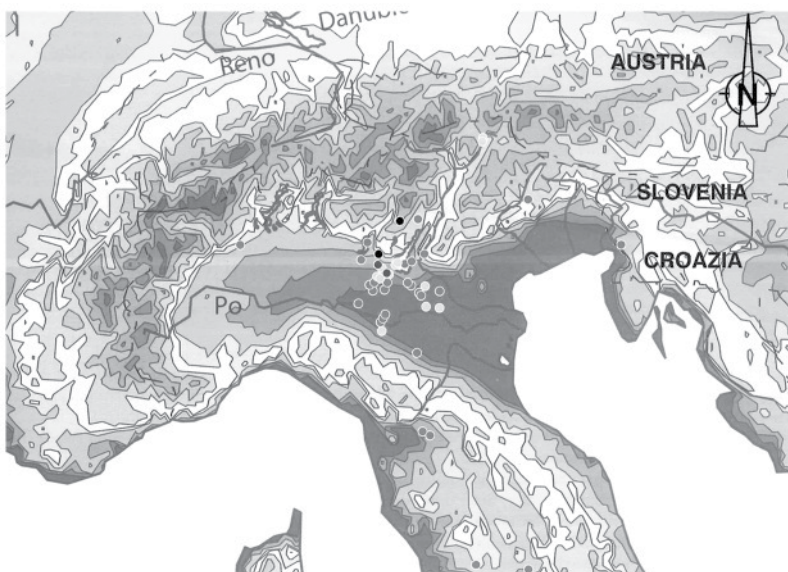
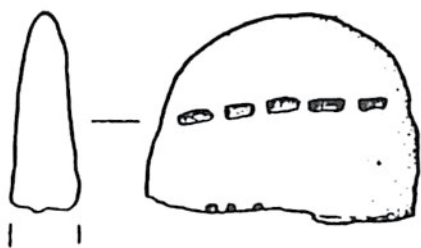


Fig. 2 - In alto: distribuzione delle tavolette enigmatiche europee. In basso: distribuzione delle tavolette enigmatiche in Italia (da Piccoli, Laffranchini 2011, modificato)



1



2



3

Fig. 3 - Tavolette enigmatiche da tre siti dell'area fiorentina. 1: Fosso di Lumino; 2: Filettole di Prato; 3: Lastruccia 3 (grandezza naturale; foto Archivio Lucia Sarti-Università di Siena)

circa 500 anni. La storia e l'archeologia indicano che in Europa non vi sono stati influssi da parte dei più antichi (a partire dal IV millennio a.C.) sistemi scrittori del Mediterraneo e del Vicino Oriente, vale a dire il sistema cuneiforme, quello geroglifico egiziano e poi il più recente sistema Lineare A (XVII-XV sec. a.C.) e B (XIV-XIII sec. a. C.) a Creta e in Grecia. Il tramonto, definitivo, delle tavolette enigmatiche nella seconda metà del II millennio a.C., sancisce l'esaurimento di un codice di comunicazione senza che venga sostituito da un altro linguaggio segnico non deperibile.

Strumento di registrazione, quindi, forse un legame col pensiero numerico: al momento questa è l'ipotesi più probabile, ma l'enigma continua.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Si segnalano alcuni testi di riferimento, rimandando per un quadro generale sull'argomento e per la bibliografia di dettaglio al volume di Piccoli, Laffranchini 2011. Per approfondire le tematiche dell'area fiorentina si veda Sarti 2014.

CARDARELLI A., PACCIARELLI M., PALLANTE P. 1997, *Pesi da bilancia dell'età del bronzo?*, in BERNABÒ BREA M., CARDARELLI A., CREMASCHI M., a cura di, *Le Terramare. La più antica civiltà padana*, Milano, pp. 629-642.

PICCOLI A., LAFFRANCHINI R. (a cura di) 2011, *Enigma. Un antico processo di interazione europea: le Tavolette Enigmatiche*, Annali Benacensi, suppl. vol. 14, Museo Archeologico dell'Alto Mantovano-Gruppo Archeologico Cavriana, Mantova.

PICCOLI A., RUGGIERO M.G., a cura di, 2015, *Tavolette enigmatiche. Un antico processo di interazione europea*, Atti Congr. Int., Cavriana 2010, Annali Benacensi, XV, Brescia.

PICCOLI A., ZANINI A. 2010, *Tavolette enigmatiche-Brotlaibidol. Un antico processo di*

interazione europea. Corpus analitico, Museo Archeologico alto Mantovano Cavriana, <http://www.master-informatica.it/museo-cavriana/admin/>

SARTI L. 2014, *Archeologia preistorica in area fiorentina. Ricerche, documenti, ricostruzione storica*, in POGGESI G., SARTI L. (eds.), *Passaggi a nord-ovest. Interventi di archeologia preventiva in via Mezzana-Perfetti Ricasoli tra Preistoria ed età romana*, Millenni. Studi di Archeologia preistorica, 10, Firenze, pp. 35-74.

VITAL J. 2014, *Les rondelles à motifs rayonnants incisés/estampés du Bronze ancien en France*, Documents d'archéologie méridionale, Protohistoire du Sud de la France, pp. 1-15.

Stefano Campi

Scorrendo l'elenco degli strumenti in esposizione presso la mostra viene quasi spontaneo associare a certe realizzazioni i nomi di alcuni matematici che nel corso della storia hanno dato un contributo decisivo a quella affascinante attività chiamata "calcolo", sviluppata dall'uomo sin dalle sue origini. L'attenzione del visitatore viene subito catturata dai più recenti, quelli con cui, direttamente o indirettamente (dipende dall'età ...) abbiamo avuto a che fare. Si tratta di macchine che un po' genericamente chiamiamo calcolatori, anche se questo termine ha ormai perso di significato, a meno che non si aggravi di quale generazione stiamo parlando.

Scorrendo l'elenco di questi calcolatori, accanto ad una certa nostalgia del "come eravamo", si affollano nella mente i nomi di tanti scienziati che hanno dato il loro contributo decisivo a quella disciplina chiamata "informatica" - con un termine non da tutti condiviso - che abbraccia un ventaglio sempre più ampio di applicazioni e in cui il calcolo svolge uno dei ruoli principali. Volendo citare tutti coloro che nel corso degli ultimi ottanta anni hanno contribuito in modo significativo allo sviluppo di questa disciplina, si rischia di omettere nomi di prima grandezza.

Tuttavia, se si considerano le basi matematiche e le idee di straordinaria originalità da cui la scienza dei computer è partita, non si può negare che i nomi di Alan Turing e di John Von Neumann meritino un posto d'onore universalmente riconosciuto.

Il momento cruciale in cui entrambi questi matematici dettero il loro contributo fondamentale è coinciso con le fasi più drammatiche del secondo conflitto mondiale, che inevitabilmente stimolò le ricerche in tutti i campi della scienza, come purtroppo era già avvenuto in passato e avviene tuttora in circostanze analoghe. Torneremo più avanti a parlare di quella esperienza cruciale.

Prima però di intraprendere un percorso a ritroso evocato dagli oggetti esposti, è necessaria una precisazione. Quando si parla di calcolo è bene distinguere tra algoritmi di calcolo e strumenti di calcolo.

In breve, un algoritmo numerico è una ricetta che descrive passo per passo le varie fasi che conducono al valore di una quantità incognita. Talvolta questa quantità è espressa da una formula che presenta difficoltà per un calcolo esplicito diretto e che richiede quindi una strategia alternativa, co-

stituita da una serie di calcoli intermedi che si concludono comunque con il risultato desiderato.

Uno strumento di calcolo è invece una macchina o un'attrezzatura che, fondando il suo funzionamento su proprietà matematiche o, appunto, su algoritmi *ad hoc*, fornisce, più o meno automaticamente, il risultato desiderato. Sinteticamente, dunque, è una macchina calcolatrice.

Tornando alla mostra e scorrendo la lista degli oggetti più recenti, c'è un altro nome che è inevitabile citare, anche se occorre fare un passo indietro nientemeno che di tre secoli.

Si tratta di John Napier, noto da noi come Giovanni Nepero.

Nepero nacque in Scozia, presso Edimburgo, nel 1550. Di ricca famiglia, dopo aver compiuto i suoi studi anche presso una università europea, nel 1574 si sposò e andò a vivere nel castello di Gartness, di sua proprietà, dove trascorse tutta la sua vita. Le notizie che lo riguardano sono piuttosto limitate.

Non fu un matematico di professione. La sua attività principale fu quella di occuparsi delle sue tenute e anche in questa attività si distinse per la sua genialità, introducendo innovazioni scientifiche e sue invenzioni in ambito agricolo. Si interessò molto di teologia, professando apertamente la sua posizione di protestante ed antipapista. E' curioso sapere che certi aspetti del suo comportamento alimentarono strane dicerie, come quella che fosse uno stregone in contatto col diavolo.

Anticipando altri studiosi già impegnati sullo stesso tema, nel 1614 Nepero presentò la sua creatura matematica, i logaritmi, nell'opera *Mirifici logarithmorum canonis descriptio*, frutto di venti anni di studio. Nell'introduzione, egli spiega da quale necessità fosse stato spinto: costruire uno strumento di calcolo che consentisse di sostituire operazioni lunghe, noiose e fonti di errore, quali le moltiplicazioni, le divisioni e le estrazioni di radici, con altre incomparabilmente più semplici, quali le addizioni e le sottrazioni, o le divisioni per piccoli numeri interi.

La chiave per passare da moltiplicazioni e divisioni ad addizioni e sottrazioni è data da una semplice proprietà delle potenze, quella che in formula si scrive come $a^x \times a^y = a^{x+y}$. Così, per moltiplicare tra loro due numeri, si può passare ai loro logaritmi, sommarli e poi tornare indietro. Ecco l'algoritmo di calcolo. Quello che occorre per poterlo applicare, ossia lo strumento di calcolo, sono delle tavole di conversione che consentano di scrivere un numero in forma logaritmica in una certa base fissata (ad esempio 10) e viceversa. Una volta messe a punto queste tavole – oggi si potrebbe dire “una volta archiviate in memoria” – il gioco è fatto una volta per tutte.

Il contributo che i logaritmi hanno dato allo sviluppo della scienza è incredibile. La loro efficacia per eseguire calcoli fu ben presto sperimentata

da personaggi del calibro di Keplero e Newton. Come ebbe a commentare Laplace, il successo dei logaritmi consisteva principalmente nel risparmio di tempo che essi consentivano in fase di esecuzione di lunghi calcoli.

Le tavole logaritmiche non erano impiegate soltanto da pochi scienziati, ma il loro uso si diffuse tra tutti coloro le cui attività richiedevano lunghi e complessi calcoli da eseguire "in tempo reale", come, ad esempio, imprenditori, commercianti, naviganti ed esploratori.

Ebbene, è davvero sorprendente che il successo dell'idea di Nepero sia arrivato fino ai nostri giorni.

Sapere che ci si può limitare a fare solo addizioni ha consentito ai padri dei moderni computer la messa a punto di modelli ideali di macchina, quale appunto la "macchina di Turing", che poi hanno progressivamente trovato realizzazione concreta. Ecco perché Nepero occupa un posto di riguardo tra i precursori degli odierni strumenti di calcolo.

Vale la pena osservare che tra gli strumenti in mostra si trovano anche i "bastoncini di Nepero" e il "Nestler Multimath Duplex 292". I primi sono un'ulteriore invenzione di Nepero che permette di eseguire automaticamente delle moltiplicazioni. Il secondo è un regolo calcolatore, cioè uno strumento che consente di fare i calcoli con notevole precisione e che era comunemente usato da ingegneri, fisici, matematici, chimici e via dicendo fino ad una cinquantina di anni fa, fino cioè all'avvento dei primi computer tascabili.

Il regolo calcolatore può essere considerato un ulteriore prodotto dell'idea di Nepero, dato che fonda il suo funzionamento sulle funzioni logaritmiche e sulle funzioni esponenziali.

Il regolo oggi è diventato un oggetto da museo. Eppure, per rendersi conto dell'utilità di questo oggetto e di quanto sia stata rapida l'evoluzione degli strumenti di calcolo negli ultimi decenni, si pensi che gli astronauti delle missioni Apollo, dunque anche quelli dell'Apollo 11 che nel 1969 per primi hanno messo piede sulla superficie della Luna, durante le loro missioni spaziali utilizzavano dei regoli calcolatori, come il Regolo Pickett N600 ES, progettati apposta per loro.

Partendo dalla geniale opera pionieristica di Turing e procedendo in avanti fino ai giorni nostri, c'è una parola che ricorre lungo questo percorso: *cifraturo*. In realtà questa parola ci potrebbe accompagnare anche in un cammino a ritroso, fino a giungere addirittura alla matematica dei Greci.

Ma procediamo con ordine.

Prima di tutto segnaliamo la presenza, tra gli strumenti in mostra, proprio di un "C.U.A.R. Cifrario Universale a regolo". Per conoscere la storia dei messaggi cifrati, dall'antichità fino ai giorni nostri, rimandiamo al bel libro di Simon Singh *Codici e segreti* (Rizzoli, 1999).

Tornando ad Alan Turing, è noto che i suoi studi sulla computazione automatica furono stimolati, nel corso della Seconda guerra mondiale, dalla necessità degli Inglesi di scoprire il funzionamento del famoso codice "Enigma", utilizzato dai Tedeschi per cifrare tutti i loro messaggi.

Con l'avvento dei moderni computer e con lo sviluppo della rete, le informazioni riservate che vengono scambiate in continuazione negli ambiti più svariati costituiscono un fenomeno di enorme portata, che richiede sofisticate misure a tutela della sicurezza.

Uno dei metodi utilizzato più di recente si fonda sul principio della *cifratura asimmetrica*, che cerchiamo di spiegare in breve nel caso di uno schema basato su numeri primi. Ricordiamo anzitutto che per cifrare un messaggio ci si può ricondurre ad un numero n , che può essere usato da una tecnica di cifratura per trasformare il nostro messaggio in una sequenza di cifre da inviare al nostro interlocutore. Se questi conosce il numero n , può a sua volta decifrare il messaggio e l'operazione si conclude con successo ... a meno che qualcun'altro non sia venuto a conoscenza del valore di n e lo usi per scoprire il messaggio segreto.

L'idea della cifratura asimmetrica consiste nello scegliere due numeri primi p e q grandi centinaia di cifre e nel calcolare il loro prodotto n . Trascurando i dettagli, usando questi numeri se ne calcolano altri due p_r e p_y , che andranno a definire la "chiave privata", data dalla coppia n, p_r , e la "chiave pubblica", la coppia n, p_y . Quest'ultima sarà diffusa e utilizzata da chiunque voglia inviare dati confidenziali a chi detiene la corrispondente chiave privata. Un utente A che voglia spedire un messaggio in modo sicuro ad un destinatario B , dovrà cifrare il messaggio tramite la chiave pubblica di B , che tutti possono conoscere. Mentre B , per decodificare il messaggio ed annullare l'effetto della cifratura, utilizzerà la propria chiave privata, che solo lui conosce.

La difficoltà di fattorizzare numeri molto grandi vanifica gli eventuali tentativi da parte di un attaccante di decodificare il messaggio trasmesso. Per farlo, dovrebbe essere in grado di scomporre n , che non è segreto, nel prodotto di p e q . Ma i numeri di cui stiamo parlando hanno un numero così elevato di cifre, che la scomposizione in fattori primi di n richiederebbe tempi incredibilmente lunghi, tali da vanificare ogni tentativo di scoprire il segreto del messaggio.

È sorprendente constatare che attualmente, pur disponendo di computer potentissimi e anche ricorrendo a eventuali scorciatoie, la scomposizione in fattori primi di numeri con centinaia di cifre è un problema che non ha una soluzione ottenibile in tempi ragionevolmente brevi.

L'inattesa presenza dei numeri primi nel contesto della *computer science* ci fa andare indietro con la macchina del tempo di ventidue secoli, fino ad

incontrare un famoso matematico greco alessandrino, Eratostene di Cirene. Tutti lo conosciamo (o dovremmo conoscerlo) attraverso il *crivello di Eratostene*, un algoritmo che consente di scrivere via via i termini della successione dei numeri primi. Dunque l'algoritmo per riconoscere se un numero è primo o no esiste, ma sul piano pratico, in presenza di numeri spaventosamente grandi, è inutilizzabile.

La figura di Eratostene ci consente di entrare nel mondo del calcolo presso gli antichi Greci, un mondo ricco di risultati che ancora oggi sono di attualità. Ci limiteremo a considerare qualche esempio particolarmente significativo, partendo appunto da questa interessante figura di matematico alessandrino, vissuto tra il 267 e il 194 a.C.

Bibliotecario della Biblioteca di Alessandria, Eratostene incarna la figura dello studioso dell'età ellenistica, i cui interessi culturali spaziavano dalla letteratura, alla matematica e alla astronomia. Ebbe contatti e collaborò con Archimede, poco più anziano di lui.

Il risultato più famoso dovuto ad Eratostene è la misura del meridiano terrestre. Il metodo di calcolo si fonda su una semplice relazione trigonometrica e richiede la misura di una quantità angolare e di una lineare.

La prima è l'apertura dell'angolo formato tra le congiungenti il centro della Terra e, rispettivamente, le città di Alessandria, a nord, e di Siene (Assuan), a sud, che Eratostene riteneva, erroneamente, si trovassero sullo stesso meridiano. Misurare quest'angolo era possibile, calcolando, a mezzogiorno del solstizio d'estate, l'inclinazione del Sole ad Alessandria, e supponendo (ipotesi in realtà non esatta) che Siene si trovasse esattamente sul Tropico del Cancro. Dunque quel giorno e a quell'ora a Siene "il Sole era nel pozzo", ossia i suoi raggi erano perpendicolari alla superficie terrestre. La seconda misura da effettuare era la distanza tra le due città, presa appunto lungo il meridiano terrestre.

Per ottenere questa misura Eratostene si servì dei dati forniti dai funzionari pubblici, che ne disponevano per motivi fiscali. Nel bel romanzo di Denis Guedj *La chioma di Berenice* (Longanesi, 2003) si narra di come i *mensores* effettuassero le misure contando i passi tra i vari traguardi disseminati lungo il percorso. Un metodo, questo, che introduceva inevitabilmente degli errori, ma che si rivelava molto più accurato di quanto si possa pensare.

È sorprendente constatare che, se si confronta la misura del meridiano terrestre, ovvero del raggio della Terra, che si ottiene oggi con metodi sofisticati e tecnologie avanzate, con quella ottenuta da Eratostene, l'errore commesso da quest'ultimo è dell'ordine dell'1.5%!

Eratostene non fu il solo, tra gli antichi Greci, a cimentarsi con misure di tipo geografico-astronomico.

Aristarco di Samo (310-230 a.C.), un altro scienziato formatosi ad Alessandria, noto soprattutto per aver introdotto per primo l'ipotesi eliocentrica, si cimentò con la misura della distanza della Terra rispettivamente dalla Luna e dal Sole. Anche Aristarco si servì di un semplice metodo di natura trigonometrica, ma i risultati che ottenne furono ben lontani dalle misure effettive. Il metodo applicato era corretto, ma i dati impiegati erano affetti da errori così pesanti da rendere inaffidabili i risultati ottenuti.

Poco più di un secolo dopo, Ipparco di Nicea (190-120 a.C.) riuscì sostanzialmente nell'impresa tentata senza successo da Aristarco. Ipparco calcolò la distanza Terra-Luna basandosi su un metodo che, come quello usato da Eratostene, utilizzava osservazioni e misure prese contemporaneamente in punti diversi, precisamente ad Alessandria e in Ellesponto, durante un'eclissi di Sole. Anche in questo caso il metodo geometrico si basava su considerazioni di tipo trigonometrico. Non a caso, proprio Ipparco è considerato il fondatore della trigonometria, peraltro già utilizzata implicitamente prima di lui. La distanza Terra-Luna stimata da Ipparco supera quella reale di circa il 7%. Ipparco si cimentò anche con la misura della distanza Terra-Sole, ma trovò un risultato circa 20 volte inferiore a quello reale, concludendo anche che il Sole doveva essere cinque volte più grande della Terra. Un risultato comunque apprezzabile, se confrontato con le conoscenze di quel tempo.

Grande è stato il contributo dato alla scienza da Ipparco, considerato uno dei fondatori dell'astronomia. Purtroppo le sue opere sono andate quasi completamente perdute, ma sappiamo che si occupò di varie discipline: tra queste, oltre all'astronomia, la matematica, l'ottica, la geografia, la meteorologia. Risulta che Ipparco si occupò anche del calcolo della longitudine, un problema che troverà una soluzione soltanto nel diciottesimo secolo, come racconta Dava Sobel nel suo saggio *Longitudine* (Rizzoli, 1996).

I tre scienziati dell'antichità di cui abbiamo appena parlato ci fanno capire che la matematica greca non era una disciplina soltanto teorica, destinata a fabbricare teoremi, ma, attraverso il calcolo, era rivolta anche a numerose applicazioni in tutti i settori.

Uno scienziato che ha incarnato perfettamente questo atteggiamento al contempo teorico e pratico è stato senza dubbio Archimede di Siracusa (287-212 a.C.).

Costantemente in contatto i matematici di Alessandria, tra cui il citato Eratostene e Conone di Samo, le sue creazioni meccaniche, le sue scoperte nel campo della fisica e le sue idee matematiche destano ancora oggi profonda ammirazione.

Non è facile riassumere in poche righe il contributo di Archimede allo sviluppo del calcolo. Ci limiteremo ad alcuni esempi tra i più significativi.

Il suo *metodo di esaustione* costituisce l'idea su cui si fonda il calcolo integrale, idea ripresa e sviluppata secoli dopo da scienziati come Keplero, Cavalieri, Leibniz, Galileo e Newton e perfezionata nel XIX secolo da Cauchy, Riemann ed altri matematici loro contemporanei. Grazie a questo metodo Archimede fu in grado di calcolare aree e volumi o di approssimare numeri come π .

Archimede introdusse il metodo di esaustione nella sua opera *Quadratura della parabola*, dove calcola l'area della regione racchiusa tra una parabola e una retta attraverso una successione di aree di triangoli contenuti nella regione stessa.

Si ricordi che un famoso problema di cui si occuparono gli antichi Greci fu quello della quadratura del cerchio, che consiste nel trovare un algoritmo geometrico che conduca ad un quadrato della stessa area di un dato cerchio *usando esclusivamente riga e compasso*. Si dovrà arrivare al XIX secolo per avere una dimostrazione rigorosa del fatto che il problema non è risolvibile e questo perché π è un numero irrazionale trascendente.

Ebbene, il metodo di esaustione consente di approssimare π attraverso le aree dei poligoni regolari di n lati inscritti in un cerchio di raggio 1, con un errore che va via via diminuendo al crescere di n . Si noti che il calcolo delle aree dei poligoni richiede solo la misura di segmenti.

Col metodo di esaustione, o con opportune varianti dell'idea di fondo, Archimede riuscì a calcolare quantità geometriche come l'area associata ad una spirale, l'inclinazione della retta tangente alla spirale stessa, l'area della superficie sferica e il volume della sfera o, comunque, i rapporti tra volumi di solidi significativi. Secondo la tradizione, Archimede stesso volle che sulla sua tomba venisse rappresentata una sfera inscritta in un cilindro, essendo due terzi il rapporto tra i volumi.

Un'altra opera di Archimede, sempre attinente al calcolo, che mette in risalto la modernità del suo pensiero matematico è senza dubbio l'*Arenario*, in cui sottopone a Gerone II, *basilèus* di Siracusa, il problema di determinare il numero dei granelli di sabbia che occorrerebbero per riempire "ogni altra regione, abitata o deserta", ossia il cosmo di allora. Al di là del fatto che Archimede, con la sua domanda, respinge in partenza come priva di senso l'idea che il numero sia infinito, il problema posto vuole in realtà mettere in discussione il sistema greco di numerazione in vigore a quei tempi, incapace di esprimere numeri enormi, come quelli che intervengono quando si tratta di misure di tipo astronomico. Giova ricordare, per inciso, che in Europa la rappresentazione moderna dei numeri, attraverso le cifre indo-arabe, verrà adottata solo a partire da Fibonacci (XII-XIII secolo). Qui si tratta più precisamente del sistema di numerazione degli antichi Greci e Archime-

de ne propone uno nuovo che consente di esprimere numeri di dimensioni enormi. Alla base di questo sistema c'è la *miriade*, ossia 10 000, attraverso le cui potenze, opportunamente ordinate, si arrivano a scrivere numeri sempre più grandi.

Partendo dal calcolo di quanti granelli siano contenuti in una sferetta grande quanto un seme di papavero, Archimede arriva a stimare che il numero di quelli contenuti nell'universo è dell'ordine di 10^{50} .

Un altro problema dello stesso tenore, che ci limitiamo a citare e che fu scoperto nel 1773 in un manoscritto greco, fu quello proposto ad Archimede ai suoi colleghi di Alessandria: calcolare il numero di buoi e vacche degli Armenti del Sole.

L'ecllettismo e la genialità di Archimede hanno contribuito al progresso scientifico fino ai giorni nostri, tanto da poterlo considerare un precursore della scienza moderna. Nel lavoro *Metodo*, perduto nel Medioevo e, dopo varie peripezie, ritrovato definitivamente nel 1998, Archimede espone l'idea che la matematica può consentire di risolvere problemi di natura fisica e che viceversa la comprensione di fenomeni naturali può stimolare nuovi processi mentali e produrre scoperte matematiche. Un approccio alla scienza che colpisce per la sua modernità e attualità.

Così, grazie ad un personaggio come Archimede ed al suo *Metodo*, ci ritroviamo proiettati in avanti, fino a ritornare al punto da cui siamo partiti nel nostro viaggio a ritroso, ossia alla scienza dei giorni nostri.

DALLA MANO PER CALCOLARE AI CALCOLATORI PER LA MANO

Marco Ciardi, Niccolò Covoni

Sembra strano definire la mano come un calcolatore, ma le dita delle mani (e volendo anche dei piedi) possono essere considerate alla stregua di un qualsiasi strumento. Ed è grazie a questo strumento, sostanzialmente la prima forma di “calcolatore”, che l’uomo ha iniziato a contare.

Successivamente sono stati costruiti degli artefatti per migliorare le nostre competenze e possibilità. Artefatti facilmente trasportabili e utilizzabili come prolungamento delle nostre mani.

Un primo, semplicissimo strumento di calcolo è senza dubbio l’Abaco. Questo rudimentale strumento di calcolo è stato usato sin dai tempi antichi sia in Europa che Asia. La sua apparenza molto semplice nasconde tuttavia un grande potenziale. L’abaco è formato da una tavoletta rettangolare contenente delle guide parallele che indicano le unità, le decine, le centinaia e così via. Lungo ogni guida si possono muovere i calcoli (il nome delle caratteristiche palline dell’abaco) per eseguire le operazioni aritmetiche. Così facendo siamo in grado di visualizzare centinaia di numeri e di velocizzare i nostri calcoli fatti a memoria. Inoltre, l’abaco non permette di avere una velocizzazione solo nelle somme o nelle sottrazioni, ma anche è molto utile anche per le divisioni e le moltiplicazioni. L’abaco è facilmente utilizzabile e può essere trasportato ed utilizzato ovunque, viste le sue dimensioni ridotte.

Come per le mani, anche questo strumento ovviamente non è paragonabile ad una calcolatrice meccanica, dato che ogni processo deve essere eseguito manualmente da chi lo utilizzi. Per attendere l’arrivo della prima macchina calcolatrice dovranno passare molti secoli. La storia dei calcolatori non è fatta ovviamente solo di macchine, ma è caratterizzata anche da notevoli avanzamenti teorici. Ad esempio, quello relativo alla scoperta dei logaritmi nel 1614 da parte del matematico e astronomo scozzese John Napier, noto in italiano come Giovanni Nepero (sulle cui ricerche rimandiamo al saggio di Stefano Campi). La nostra macchina del tempo si ferma poco dopo, nel 1642, quando viene ideato il primo calcolatore meccanico della storia: la cosiddetta pascalina. Anche se, a onor del vero, tale invenzione è stata preceduta, circa venti anni prima, da un progetto dell’astronomo e matematico tedesco Wilhelm Schickard. Purtroppo il prototipo andò a fuoco nel suo laboratorio prima di essere completato.

La pascalina, come si intuisce facilmente dal nome, è stata realizzata dal filosofo e matematico francese Blaise Pascal. La macchina è costituita da vari meccanismi interni, formati da alcune ruote dentate, azionate da uno stilo e da dischi numerati indicanti il nome. La vera rivoluzione dello strumento consiste nel fatto che chi lo usa deve solo introdurre le cifre da aggiungere senza svolgere manualmente il calcolo. La pascalina, tuttavia, permette di fare solo addizioni e non sottrazioni. In breve, migliora solo una parte delle nostre competenze e di ciò che siamo in grado di fare con il semplice uso delle mani. Inoltre, la pascalina non è uno strumento che può essere utilizzato in viaggio. Seppur di dimensioni non esagerate, il suo uso è destinato a restare confinato nell'ambito delle case o degli studi.

Lo sviluppo di calcolatori meccanici in grado di essere tenuti sul palmo di una mano o essere trasportati con facilità dovrà attendere un bel po'. La prima necessità rimase per parecchio tempo quella di sviluppare oggetti in grado di migliorare nettamente quelle che sono le nostre potenzialità umane.

Un forte impulso a questa ricerca venne dato allo sviluppo del Sistema numerico binario, le cui origini possono essere far risalite al filosofo e scienziato tedesco Leibniz e al già citato John Napier. Il linguaggio binario è stato fin dai suoi albori utilizzato in una grande varietà di ambiti: tra questi basti ricordare l'impiego di schede perforate nei telai meccanici progettati dal francese Joseph-Marie Jacquard.

Il primo strumento calcolatore pensato per sfruttare questo tipo di linguaggio è stato progettato dall'inglese Charles Babbage: la macchina analitica. L'invenzione di Babbage era teoricamente in grado di tabulare in modo meccanico fino ad otto decimali. Seppur illustrata pubblicamente per la prima volta al Secondo congresso degli scienziati italiani, che si tenne a Torino nel 1840, tale macchina, tuttavia, non fu mai realizzata praticamente. In ogni caso, ha rappresentato il primo step conoscitivo verso quelli che sono gli odierni computer o gli smartphone che ci accompagnano tutti i giorni. Anche se, certamente, non sarebbe stata facilmente utilizzabile o trasportabile.

Nel progetto di Babbage, infatti, la macchina è lunga più di 30 metri e deve essere alimentata tramite un motore a vapore. Inoltre i calcoli possono essere fatti solo tramite schede perforate e i risultati stampati successivamente. La macchina analitica, dunque, avrebbe senz'altro ampliato le nostre capacità, ma non sarebbe certo maneggevole.

Negli anni '50 dell'Ottocento il britannico George Boole ha fatto fare notevoli progressi al Sistema numerico binario, permettendo di rappresentare il vero ed il falso attraverso due numeri: l'1 e lo 0. Boole ha sviluppato inoltre la logica che da lui prende il nome: l'algebra booleana. Grazie ad essa, le operazioni

matematiche (come somma, sottrazione, moltiplicazione) vengono sostituite con operatori logici, mentre i valori di verità vengono assegnati attraverso l'uso del sistema binario.

Grazie a questi sviluppi teorici è stato possibile creare un linguaggio, che può essere interpretato dai calcolatori meccanici, e che ha portato allo sviluppo dei nostri calcolatori quotidiani.

Il vero cambio di direzione si avrà soltanto con l'avvento della Seconda Guerra Mondiale, durante la quale moltiplicare le nostre capacità di calcolo diventa un obiettivo fondamentale. Il nostro cervello è in grado di computare tra le 10¹³ e le 10¹⁶ operazioni per secondo. Le nostre capacità intellettive ci permettono dunque di andare agevolmente oltre le nostre mani, ma ad un certo punto tutto diventa molto complicato.

Nel saggio Sui Numeri Computabili, elaborato nel 1936, Alan Turing propone una teoria che sviluppa un metodo meccanico per eseguire qualsiasi algoritmo. Nasce così il modello matematico della Macchina di Turing e una nuova branca della matematica: la computazione. Questa innovazione fornisce un grande impulso al raggiungimento del primo obiettivo che l'uomo si è proposto: migliorare le nostre capacità ed aver ottenuto uno o più artefatti in grado di superare le nostre competenze, per velocità e quantità.

Un esempio è la macchina proposta dallo stesso Turing denominata Bomba. Questo congegno è stato capace di decrittare i messaggi trasmessi dai soldati tedeschi durante la guerra, impossibili da decifrare per un essere umano, a causa del cambio continuo delle combinazioni.

Bomba ha ampliato enormemente le capacità umane ed è considerabile come il primo precursore del computer, insieme a quello che è stato prodotto nel 1945 da due ingegneri americani, John W. Mauchly e John P. Eckert. Tuttavia, entrambe le macchine non rispettano il secondo obiettivo indicato sin dall'inizio: la trasportabilità. Le dimensioni di questi dispositivi, infatti, superano quelle di un armadio, con comandi non intuitivi ed impossibili da usufruire nella quotidianità.

Finita la guerra, i progressi anche nel campo della portabilità non si sono fatti attendere.

Con gli anni '60 e '70 del Novecento si ha la svolta: il cambio di paradigma a livello hardware. I meccanismi dapprima fatti di rotelle, stili e grandi valvole, sono sostituiti da una nuova tecnologia che trasforma il meccanico in qualcosa di nuovo: nascono i primi circuiti elettronici. Questi circuiti sono in grado di fornire le medesime competenze di quelli tradizionali, ma di occupare dimensioni molto ridotte: le parti meccaniche ingombranti sono sostituite da transistor e da componenti elettroniche, grandi solo pochi millimetri, che svolgono le solite funzioni attraverso l'elaborazione di segnali informativi di

natura elettromagnetica. I transistor, infatti, possono, tramite l'emissione o meno di corrente, utilizzare il linguaggio binario che è la parte fondamentale dell'algebra di Boole.

Tale innovazione è il primo passo per portare a compimento quella che è sempre stato il secondo sogno dell'uomo, ovvero poter disporre di mezzi che amplificano le nostre competenze innate, ma facilmente trasportabili e maneggiabili.

L'ultimo passo avviene negli anni '70 con l'avvento dei circuiti stampati: questo tipo di circuito è parte della nostra quotidianità, in quanto, oggetti simili sono presenti, ad esempio, nei nostri elettrodomestici. Questi circuiti sono formati dai chip, piccole barre di silicio che presentano al loro interno migliaia di transistor. È quindi facile intuire come questa tecnologia abbia permesso la drastica diminuzione delle dimensioni e del peso degli strumenti.

Ne è un esempio la Divisumma 18 Olivetti, realizzata a partire dal 1973. Questa calcolatrice elettronica utilizza la nuova tecnologia dei circuiti stampati ed è in grado di operare le quattro operazioni fondamentali (addizione, sottrazione, moltiplicazione e divisione): cosa tutt'altro che scontata, visto che fino agli anni '40 per aver accesso a queste operazioni -sugli strumenti dell'epoca- bisognava ricorrere a trucchi quali l'addizione ripetuta o la somma dell'inverso.

La calcolatrice è del tutto portatile: le sue dimensioni sono praticamente tascabili (30 centimetri di lunghezza e 2 kg di peso). In questo modo si ha, per la prima volta dopo l'abaco, un oggetto effettivamente trasportabile e che permette un netto ampliamento delle capacità di calcolo umane.

Ma una calcolatrice è pur sempre un calcolatore: esso va azionato a mano e riesce a fare solo alcune operazioni. In contemporanea, con lo sviluppo delle calcolatrici, la nuova tecnologia dei circuiti viene applicata anche ai computer ed anche questi iniziano ad assumere delle dimensioni che permettono il loro utilizzo a tutti gli utenti: non necessitano più di grandi stanze universitarie o di laboratori e il loro costo scende vertiginosamente.

A questo punto della nostra storia è impossibile non citare il Commodore 64, il computer di maggior successo al mondo (oltre le 17 milioni di copie vendute). Prodotto dalla Commodore Business Machine, questo personal computer deve il suo successo al prezzo molto inferiore alla concorrenza (il suo rivale l'Apple II costava il doppio). Si tratta di una macchina non solo capace di eseguire i calcoli, ma che avvia un'altra rivoluzione: aumentare le nostre esperienze rispetto al mondo esterno. È infatti capace di farci vivere centinaia di avventure e raccontarci innumerevoli storie (a partire da Babbage Baubble fino a Pirates). L'evoluzione dei microchip (i figli dei chip e nipoti delle rotelle della Pascalina) ha portato milioni di persone su molti

mondi diversi da quello in cui vivevano e ha permesso di sviluppare ancora di più le nostre qualità e conoscenze. Ma è bene ricordare che l'evoluzione tecnica delle capacità dei computer è stata dovuta allo sviluppo dell'uso dell'algebra di Boole.

Una storia parallela meriterebbero i linguaggi di programmazione, che passano dall'uso di stringhe di zero ed uno ripetuti, a metalinguaggi molto più complessi che permettono all'uomo di dire alla macchina cosa vuole visualizzare sul monitor e di trasmettere al computer lunghissime stringhe binarie che hanno quel significato. Linguaggi che fanno sempre più da tramite tra le macchine e gli uomini.

Il vostro viaggio si conclude con un ultimo tassello che tutti conosciamo: basta che infiliamo una mano nelle nostre tasche: lo Smartphone. Il piccolo oggetto che teniamo tra le nostre mani ci permette di accedere ad una capacità di calcolo incredibile, che i calcolatori meccanici non possono nemmeno sognarsi. Tutta la potenza di una Bomba di Turing dentro il palmo di una mano. Un oggetto che ci permette di collegarci con l'intero globo in maniera immediata, di scattare foto, tradurre istantaneamente da un'altra lingua, di avere accesso a infinite possibilità che ci sono precluse in quanto umani.

L'evoluzione dei calcolatori ci ha portato là dove la nostra storia è iniziata, quando le nostre mani erano l'unico strumento che avevamo a disposizione per eseguire dei calcoli. Adesso quelle stesse mani ci consentono di accedere all'universo intero, spesso anche oltre i limiti della nostra mente.

Tavole



1



2

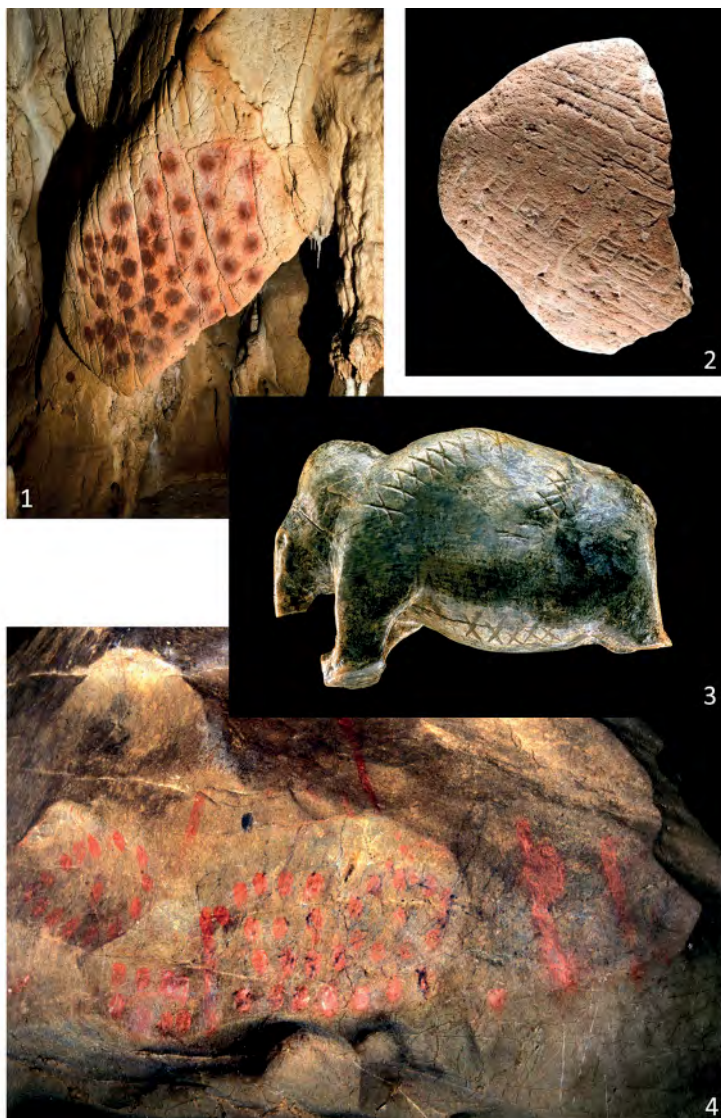


3



4

Tav. 1 – 1: Grotta del Cavallo (Lecce). Blocchetto calcareo inciso con un gruppo di linee che crea un effetto superficiale. 2: Strumento bifacciale (amigdala) del Paleolitico antico africano (Cultura dell'Acheuleano), risale a circa 800-600 mila anni fa. 3: Grotta Temnata (Bulgaria). Frammento osseo con incisioni regolari abbastanza equidistanti che creano una elementare scansione ritmica. 4: Ishango (Repubblica Democratica del Congo). Osso di babuino con incisioni di brevi tratti regolari (1, 2, 3: Foto Archivio MIFiP-Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria; 4: foto RBINS-Google Arta& Culture; da Pletser 2012 modificato)



Tav. 2 - 1: Grotta Chauvet (Francia). Pannello con segni puntiformi; 2: Grotta del Cavallo (Lecce). Ciottolo calcareo con incisioni disposte secondo una costruzione lineare organizzata e a simmetria bilaterale; 3: Grotta di Vogelherd (Germania). Piccola statuetta in avorio raffigurante un mammoth; 4: Grotta di Niaux (Francia). Pannello con una costruzione regolare di segni puntiformi (nn. 1, 4 da Fritz 2022; nn. 2, 3 foto Archivio MIFIP-Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria)



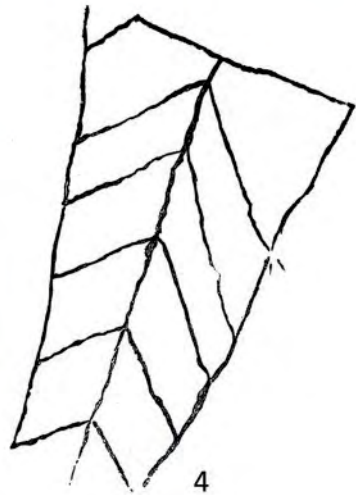
1



2

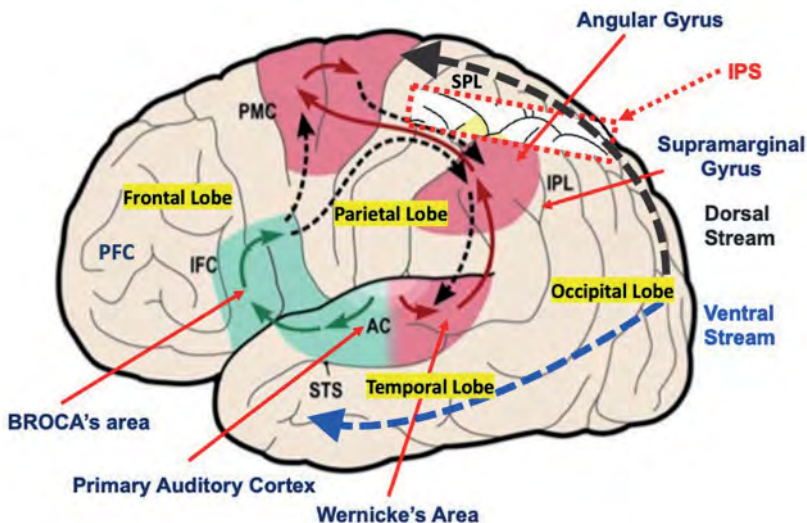


3



4

Tav. 3 - Grotta Lascaux (Francia). Pannello dipinto sulla parete della grotta con figura policroma quadrangolare; 2: Grotta Cosquer. Incisione geometrica a rombi concentrici; 3: Riparo Villabruna A (Belluno). Grosso ciottolo calcareo con rappresentazione schematica di un antropomorfo; 4: Grotta La Vache (Francia). Incisione lineare schematica (n. 1 da Aujoulat 2004; n. 2 da Clottes 2008; n. 3 da Martini 2016; n. 4 da Sanz Martinez 1954-55)



Tav. 4 - Le frecce nere con punteggiatura in grassetto indicano la direzione approssimativa del Flusso Dorsale a funzione non semantica (non-semantic Dorsal Stream) che controlla l'integrazione degli oggetti nello spazio a partire dalla corteccia visiva occipitale (Occipital Lobe). La freccia blu con punteggiatura in grassetto mostra la direzione del flusso ventrale semantico (Ventral semantic stream) che origina sempre dalla corteccia visiva occipitale e si estende verso il lobo Temporale (Temporal Lobe). Il flusso ventrale (in verde) ha una funzione generale nella ricognizione uditiva degli oggetti e azioni, inclusa la percezione della vocalizzazione e del parlato. Il flusso dorsale (in rosso) si articola nella corteccia parietale (Parietal Lobe) inferiore / posteriore, dove una rapida integrazione dell'informazione derivata da eventi sensoriali è confrontata con le efferenze motorie (linee tratteggiate). In questo modo il flusso dorsale gioca un ruolo allo stesso tempo generale e centrale nell'integrazione e controllo senso-motorio. Il solco intraparietale (IntraParietal Sulcus: IPS) si trova all'interfaccia di queste due regioni e controlla l'abilità numerica (numerosità) e la comprensione/integrazione di concetti astratti (astrazione), in aggiunta ad altre funzioni: sebbene l'IPS sia presente anche nel cervello dell'uomo di Neanderthal, appare molto più sviluppato in *H. sapiens*, lasciando aperta la questione se i Neanderthal avessero le stesse capacità cognitive (numerosità e astrazione) che caratterizzano l'uomo contemporaneo. Altre regioni coinvolte in funzioni neuro-cognitive (si veda il testo per ulteriori dettagli) comprendono altre regioni del lobo parietale, quali la circonvoluzione sopramarginale (Supramarginal gyrus: SMG) e la circonvoluzione angolare (Angular gyrus: AG), e sono anche localizzate nell'espansione laterale del lobo parietale alla giunzione con la circonvoluzione temporale superiore (Superior Temporal Gyrus: STG). IFC = Inferior Frontal Cortex/corteccia frontale inferiore; STS=Superior Temporal Sulcus/solco temporale superiore; AC=Auditory Cortex/corteccia uditiva; IPL=Inferior Parietal Lobe/lobo parietale inferiore; SPL=Superior Parietal Lobe/lobo parietale superiore; IPS=Intra-Parietal Sulcus/solco intraparietale; PMC=Pre-Motor Cortex/corteccia premotoria; PFC=Pre-Frontal Cortex/corteccia prefrontale (da Rauschecker 2012, modificato)



Tav. 5 - In alto: due bullae, una integra e l'altra aperta con tokens visibili all'interno, databili al IV millennio a.C., conservate all'Oriental Institute di Chicago (fonte: Wikimedia, autore: Zunkir, CC Attribution-Share Alike 4.0 International license). In basso: tokens tardo-calcolitici provenienti da Arslantepe (immagine pubblicata con il permesso di MAIAO, Sapienza, Roma. ©MAIAO, foto di Roberto Ceccacci).



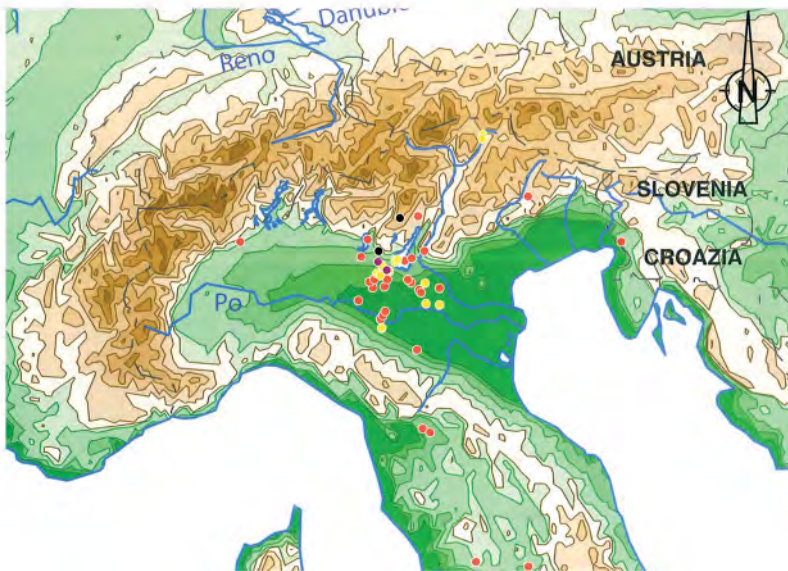
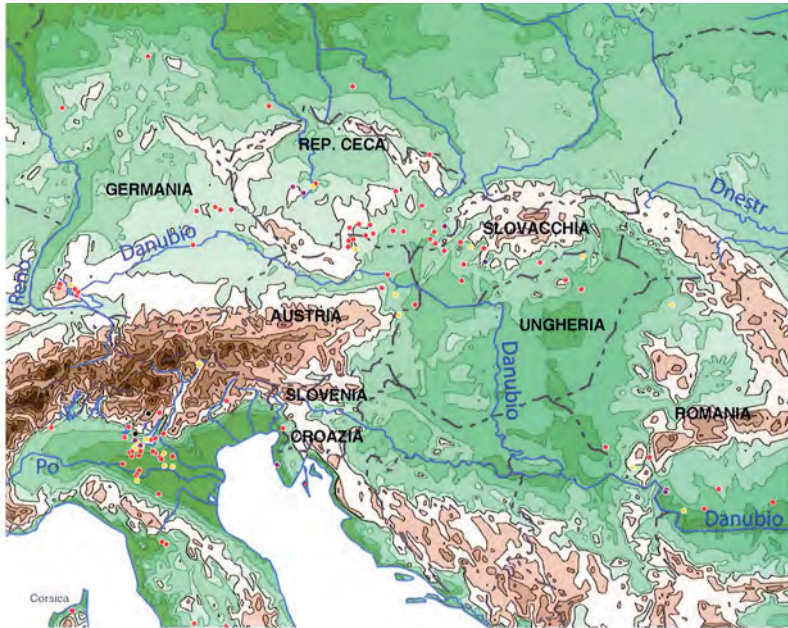
Tav. 6- Tavoleta amministrativa da Uruk relativa a quantità di orzo e malto, MET 1988.433.3 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cuneiform_tablet-_administrative_account_with_entries_concerning_malt_and_barley_groats_MET_DP293245.jpg)



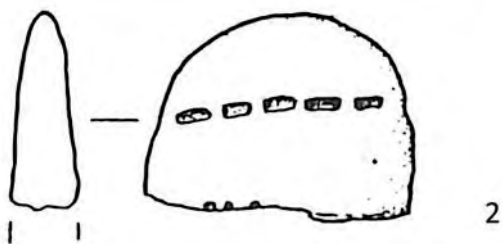
Tav. 7 - YBC7289. Tavoletta paleobabilonese, 1900-1600 a.C. (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:YBC-7289-OBV-REV.jpg>)



Tav. 8 – Tavole enigmatiche europee (da Piccoli, Laffranchini 2011)



Tav. 9 - In alto: distribuzione delle tavolette enigmatiche europee. In basso: distribuzione delle tavolette enigmatiche in Italia (da Piccoli, Laffranchini 2011, modificato)



Tav. 10 – Tavolette enigmatiche da tre siti dell'area fiorentina. 1: Fosso di Lumino; 2: Filettole di Prato; 3: Lastruccia 3 (grandezza naturale; foto Archivio Lucia Sarti-Università di Siena)

CREDITS E RINGRAZIAMENTI

Per gli oggetti in esposizione:

- 1- Mani: <https://www.theatlantic.com/education/archive/2016/04/why-kids-should-use-their-fingers-in-math-class/478053/>; Philippe Lissac, Godong, Corbis
- 2- Abaco etrusco: sig. Mario Bettocchi (foto): urna etrusca al Museo Guarnacci, Volterra
- 4- Lotus-Flower Brand Suanpan: <https://www.sutori.com/en/item/abacus-in-mandarin-is-called-the-suan-pan-which-means-calculating-plate>
- 5- Reliable Typewriter and Adding Machine co. Addometer mod.A: The Dayton Herald, 13-11-1928, pag. 16
- 6- Bastoncini di Nepero: IBM Corporation; Time, febbraio 1959
- 7- Felt & Tarrant Comptometer F: Felt & Tarrant, Amsterdam, 1919; IBM International Business Machines Corporation; da www.vintads.it
- 8- C.U.A.R. Cifrario Universale a regolo: Lin Zouqi (autore del disegno)
- 9- Addiator Maximator: Mebhaus Jägerhof, 1920; da www.vintads.it
- 10- Nestler Multimath Duplex 292: IBM Corporation; Fortune, dicembre 1951, pag. 55; Cecile & Presbrey advertising agency for International Business Machines
- 11- Carbic Limited Otis King's model K: Otis King (produzione Carbic Limited), H.T. Pockett., Greenwich; da www.vintads.it
- 12- Olivetti Divisumma 24: Time Magazine, November 11, 1966
- 13- Memorie a nucleo di ferrite: Remington Rand-Univac, Scientific American 09.1955
- 14- Memoria magnetostrittiva: Engineering Research Associates, INC., Scientific American, 01.1953
- 15- Apollo Guidance Computer: National Aeronautics and Space Administration NA-46; cortesia della NASA - © 1969 NASA; AGC di Trammel Hudson
- 16- Microprocessore: Intel 4004 Nov. 15, 1971- Electronic News; Intel Corporation, Thomas Nguyen (CC); Archivi Intel - © Intel Corp. 1969
- 17- Calcolatrice Texas TI 2500 (Datamath): Panorama 1.11.1973; Texas Instruments
- 18- Olivetti Divisumma 18: Vintads (1973); Olivetti s.p.a.; da www.vintads.it
- 19- Atari 2600: Playboy, January 1979; Atari Inc.
- 20- Texas Instruments Speak & Spell: Vintads (1984); Texas Instruments; da www.vintads.it
- 21- Commodore 64: Commodore Computer Club, 12.1984; System Editoriale; Commodore
- 22- Nintendo NES: Nintendo NES 1985

Le immagini a pp. 10, 16 sono generate con software di Intelligenza Artificiale.

Finito di stampare nell'aprile 2023
Pierrestampa
Roma



ISBN 979-12-80445-06-3



Marco Fanciulli, Cyberneticus (realizzato da una intelligenza artificiale)

EURO 10,00

