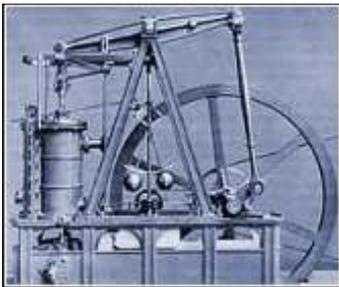


# 1. Macchine programmabili

[paolo.giangrandi@dimi.uniud.it](mailto:paolo.giangrandi@dimi.uniud.it)



**Momento storico**

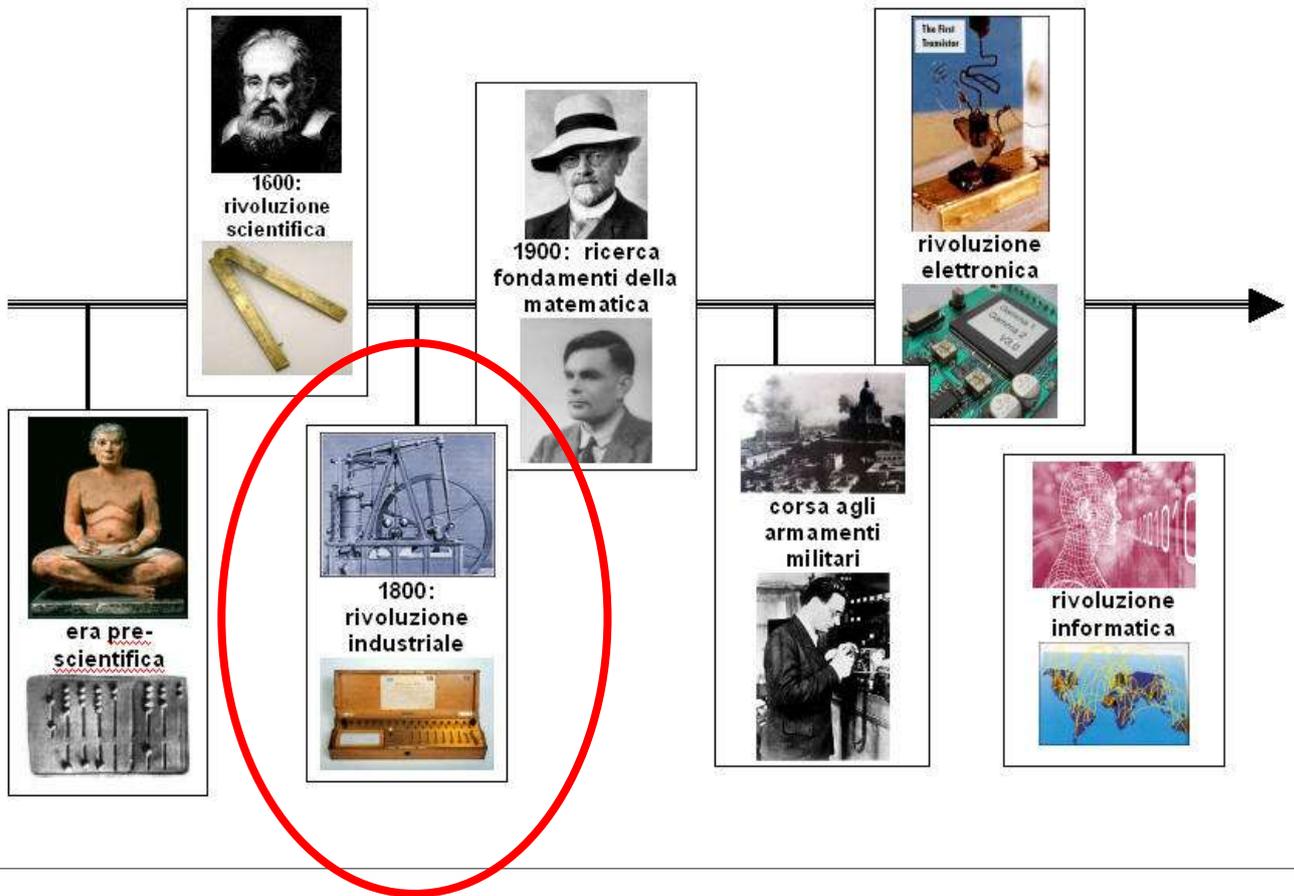


**Le macchine di Babbage**

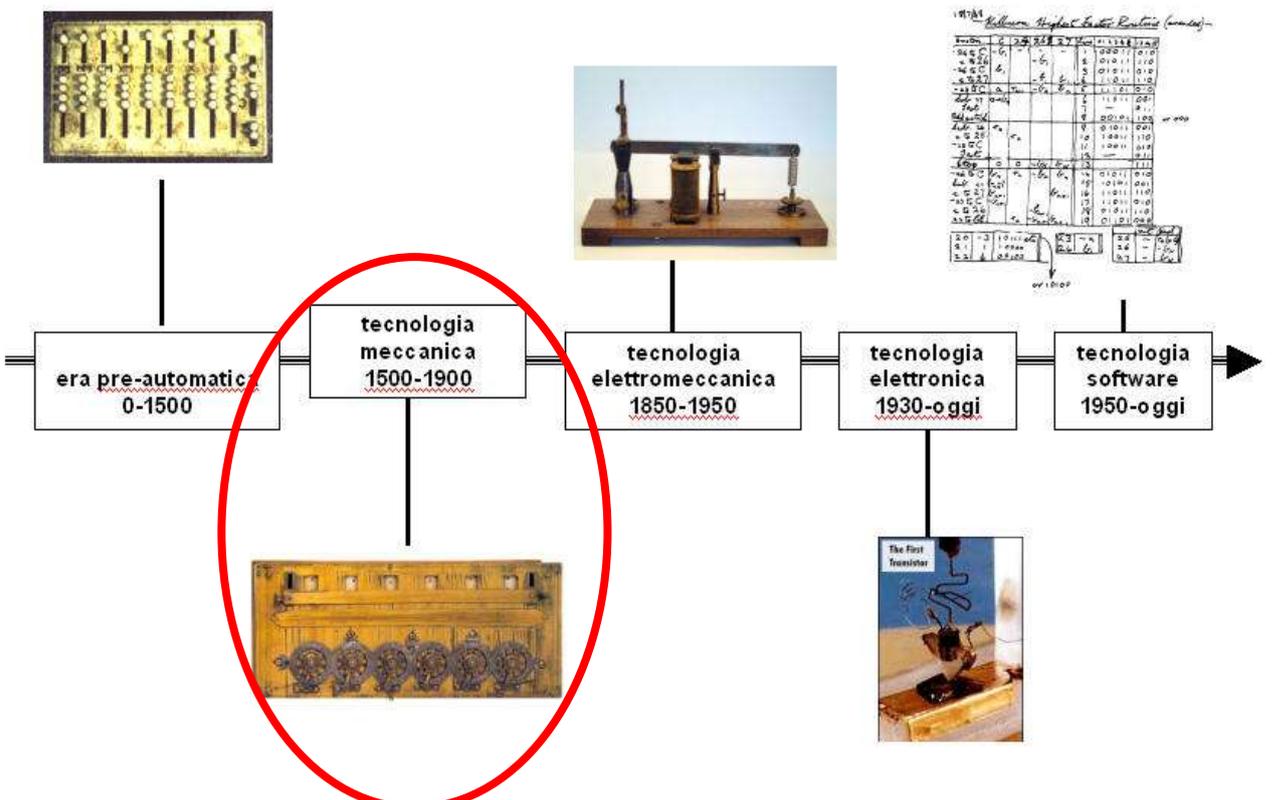
# Sommario

1. Macchine programmabili .....	1
1.1. La rivoluzione industriale .....	4
1.2. Macchine Programmabili.....	12
Fattori che portarono al calcolatore programmabile.....	17
Automi meccanici e macchine musicali .....	19
Telaio Jacquard .....	24
La Macchina delle Differenze di Babbage .....	29
La Macchina delle Differenze dei Sheutz .....	41
L'anello di congiunzione.....	44
Macchina Analitica .....	45
Ada Byron .....	56

## 1. L'informatica attraverso la storia della scienza e della tecnica

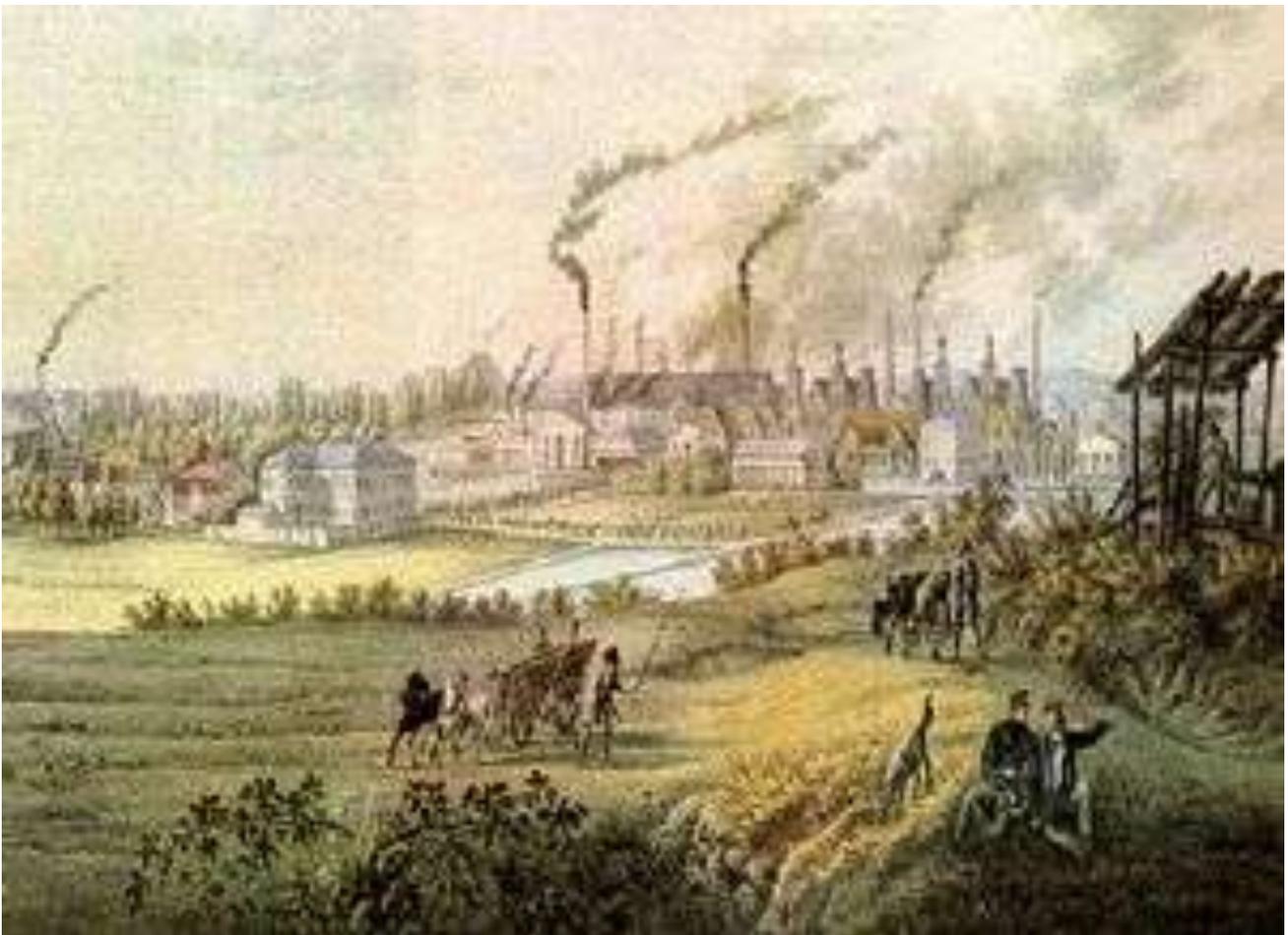


## 2. Storia dell'informatica: L'evoluzione tecnologica



## 1.1. La rivoluzione industriale

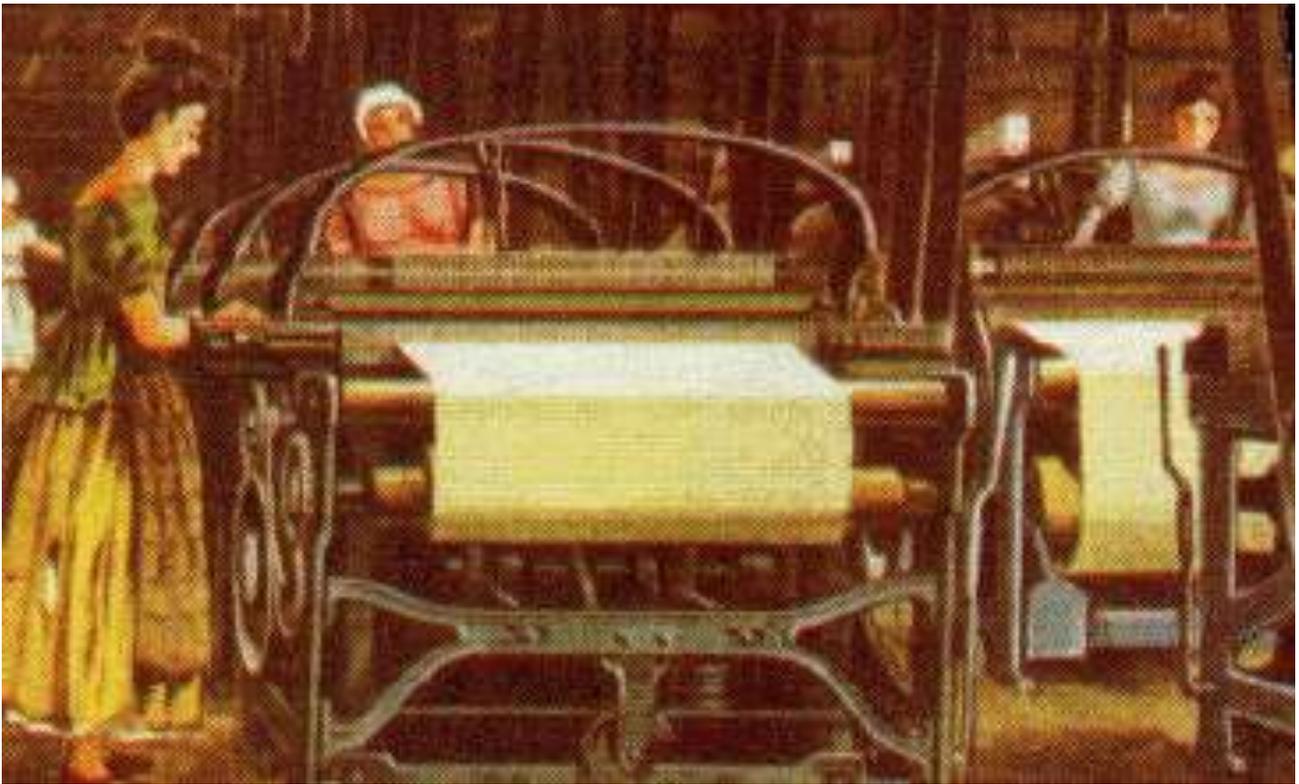
La rivoluzione industriale (distinta in prima e seconda rivoluzione) copre approssimativamente un arco di tempo che va circa dal 1770 alla fine del 1800<sup>1</sup>. In questo periodo l'intero sistema economico-sociale passa da una realtà di tipo prevalentemente agricolo ad una realtà industriale.



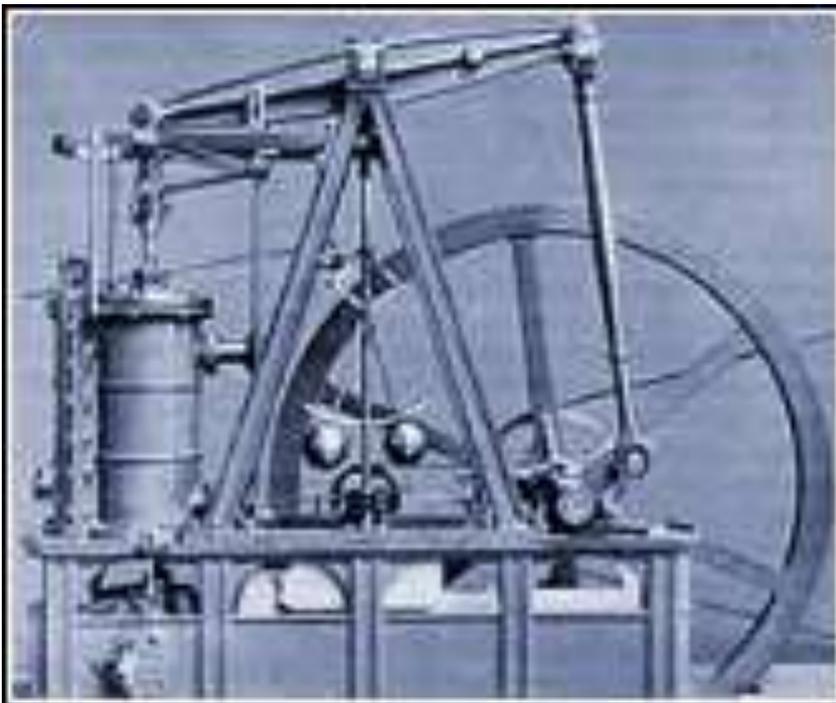
**Dalla campagna agricola alla città industriale (fine del 1700)**

---

<sup>1</sup> Si tratta di un arco temporale molto approssimativo peraltro dipendente anche da paese a paese.



**Industria tessile**



**Il motore a vapore: la prima fonte di energia non animale (Thomas Newcomen, 1712, James Watt, 1769)**



**Le prime industrie azionate da motori a vapore.**



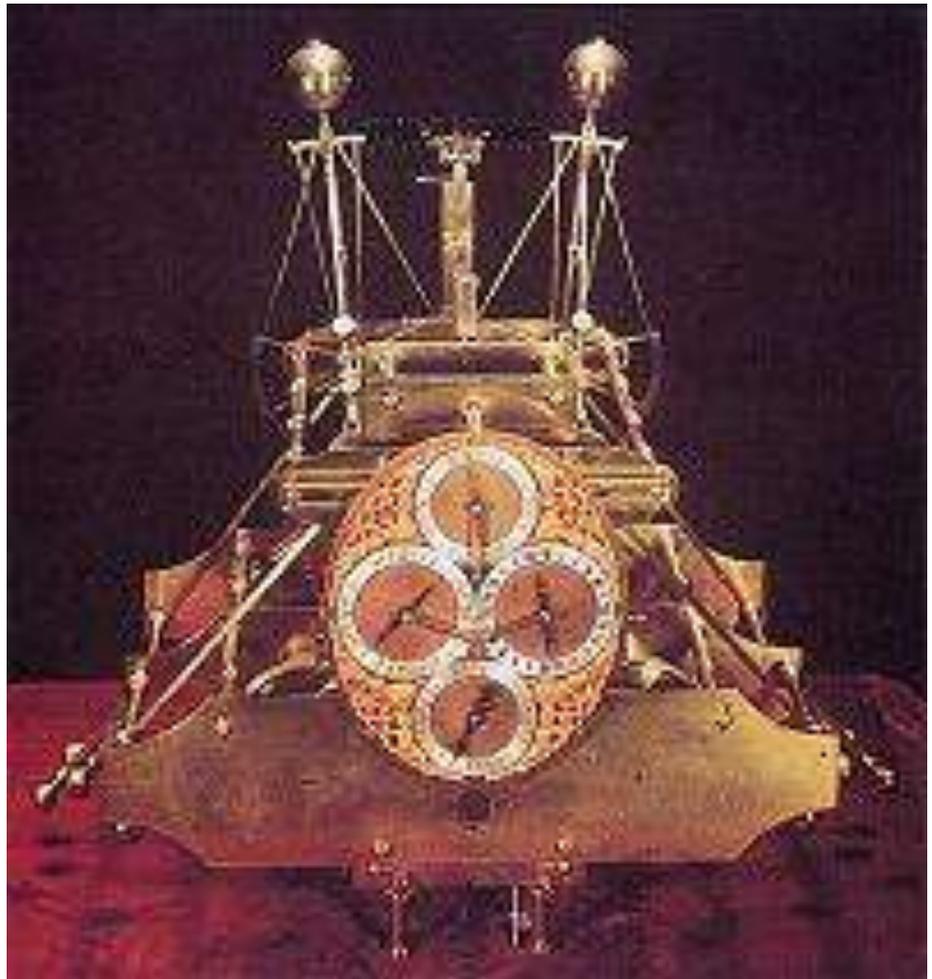
**La locomotiva a vapore (George Stephenson, 1829)**



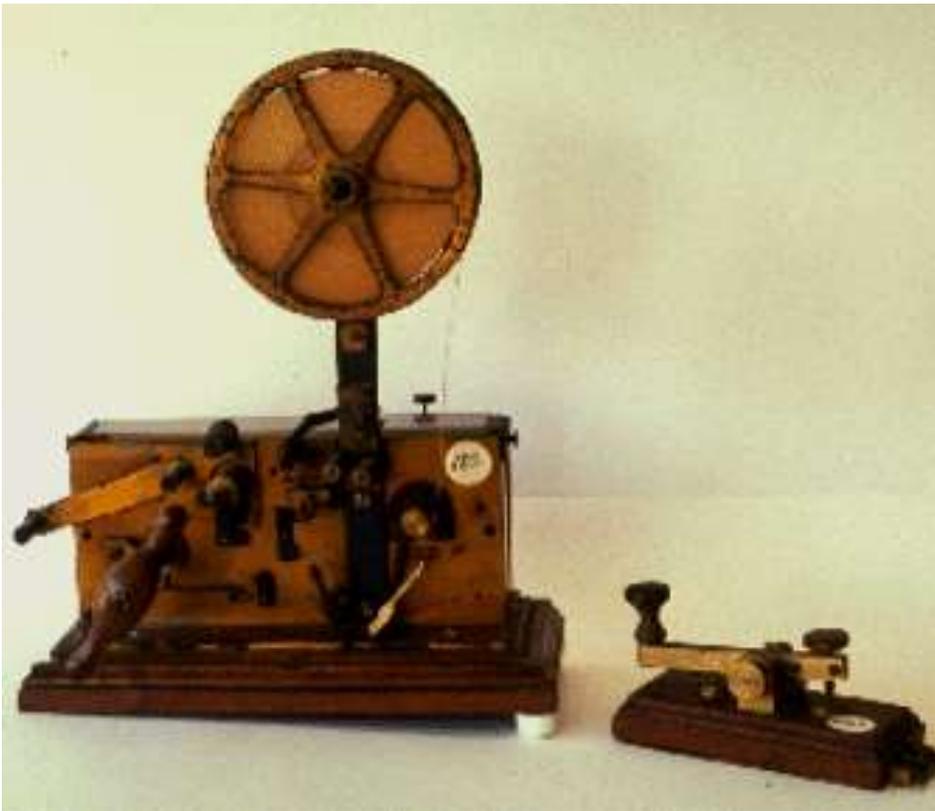
**Navigazione e commercio: nel 1800 la Gran Bretagna è la regina del mare.**



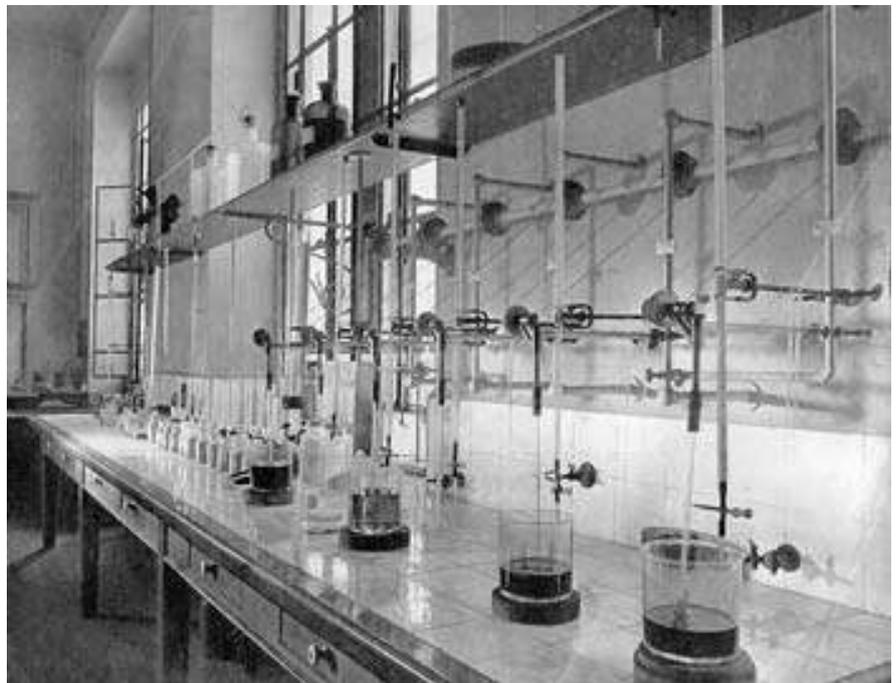
**L'osservatorio di Greenwich (1847)**



**Il primo cronometro per la navigazione, presentato da John Harrison (1693-1776) nel 1735.**



**Telegrafo Morse (1844)**



**Industria chimica: inizia la sintesi industriale di nuove sostanze chimiche**



**Telaio Jacquard a schede perforate (1801).**



**La produzione industriale di massa.**



VIDEO

Video: Rivoluzione industriale

## 1.2. Macchine Programmabili

A partire dalla Pascalina, molti inventori cercarono di **perfezionare i meccanismi delle calcolatrici** sotto diversi aspetti:

- (i) maggior numero di cifre con cui effettuare i calcoli,
- (ii) maggiore affidabilità,
- (iii) maggiore velocità di esecuzione e,
- (iv) meccanizzazione di nuove operazioni.

Successivi perfezionamenti permisero di realizzare congegni in grado di svolgere non solo le quattro operazioni, ma anche altre operazioni come la **radice quadrata**.

L'idea feconda che permise invece di cambiare la storia dell'informatica in modo radicale rispetto alle macchine descritte nel precedente capitolo fu quella di **passare da una macchina di tipo dedicato, cioè capace di svolgere un solo compito, ad una macchina di uso generale, capace di svolgere compiti diversi senza doverne cambiare pezzi**.

La chiave per giungere ad una macchina di questo tipo è legata al concetto di macchina programmabile, cioè di una macchina capace di eseguire algoritmi diversi, di volta in volta specificati dall'uomo. Per realizzare un calcolatore programmabile furono necessarie due idee fondamentali:

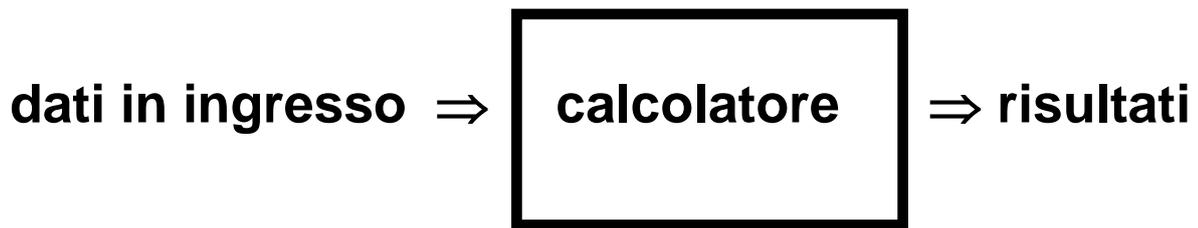
- comprendere la necessità di separare fisicamente il programma dal meccanismo che lo esegue;
- rappresentare il programma in una qualche forma astratta che non sia un ingranaggio; questo problema a sua volta richiese di trovare un modo per esprimere l'algoritmo in un certo linguaggio simbolico.



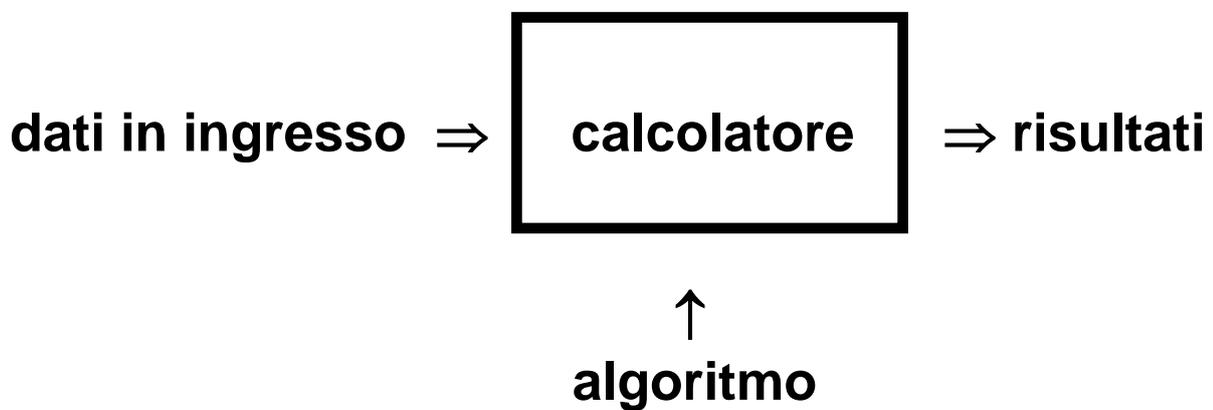
## MULTIMEDIA

[Video 1](http://misweb.cbi.msstate.edu/~rpearson/videos): Introduzione a Babbage [da <http://misweb.cbi.msstate.edu/~rpearson/videos> ]

## CALCOLATORE A LOGICA CABLATA



## CALCOLATORE PROGRAMMABILE



Al concetto di programmazione di un calcolatore si giunse solo nella **prima metà del 1800** e il primo a comprendere il ruolo chiave di questo concetto nell'ambito dei calcolatori fu l'ingegnere e matematico inglese **Charles Babbage**.



**Fig. Charles Babbage (intorno al 1847).**

Babbage, visionario dotato di straordinaria intuizione, anticipò numerose idee di quella che cento anni più tardi sarà la moderna rivoluzione informatica.

L'idea di automatizzare un processo di calcolo rappresentava a quella epoca un salto concettuale considerevole e non facile da compiere: richiedeva di combinare insieme

- meccanismi per eseguire singole operazioni aritmetiche,
- meccanismi per controllare/regolare una sequenza di operazioni,
- meccanismi per registrare dati, meccanismi per muovere dati da un organo all'altro,

tutte cose a cui nessuno aveva mai pensato prima.

In un certo senso, voleva dire realizzare una macchina capace di “ragionare”, cioè di combinare insieme delle operazioni per risolvere un problema.

## Fattori che portarono al calcolatore programmabile

Prima di esaminare l'opera di Babbage, vediamo quali furono i fattori che influenzarono Babbage portandolo a concepire il calcolatore programmabile.

- il **meccanicismo** che caratterizzò il pensiero culturale (**illuminismo**) del '700 e
- la **rivoluzione industriale** che contrassegnò l'enorme sviluppo economico e tecnologico della Gran Bretagna e più in generale dell'Europa a partire dalla seconda metà del '700.

Il meccanicismo spiega il rinnovato interesse per la realizzazione di vari **automi meccanici** (i più comuni di tipo musicale) a partire dal Settecento e poi nell'Ottocento. Sebbene questi automi non avessero una particolare importanza dal punto di vista pratico, essi testimoniano la speciale attenzione rivolta verso l'automazione e il controllo di sequenze di operazioni in questo periodo.

Anche il **telaio Jacquard**, assieme ad altre invenzioni, aiutò Babbage a concepire il calcolatore programmabile.

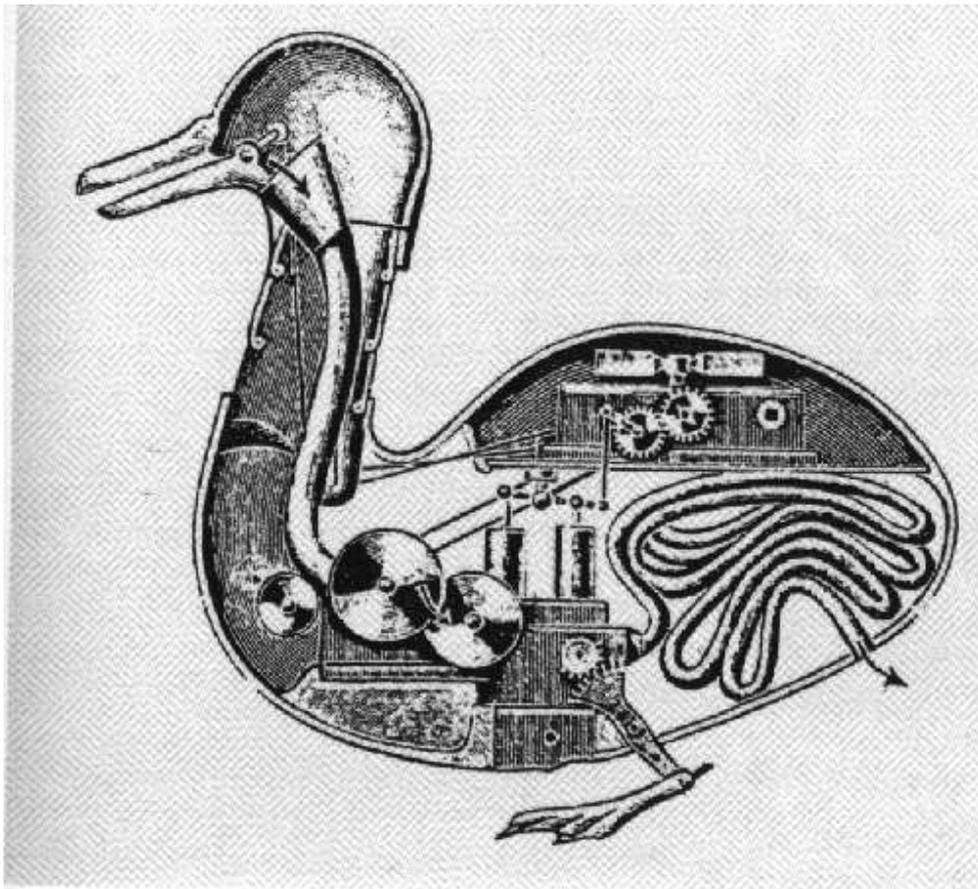
In sintesi, alla fine 1700 andarono maturando due idee importanti:

- le macchine possono essere dotate di una propria forza interna grazie ad un motore a vapore o altri dispositivi;
- le macchine possono eseguire sequenze complesse di azioni grazie a opportuni meccanismi di controllo.

## Automi meccanici e macchine musicali

Una delle prime forme in cui si trova espresso il **concetto di programmazione** è quella degli automi e, più in generale, dei **meccanismi a controllo automatico**.

Nel '700 gli automi meccanici diventano particolarmente raffinati e capaci di eseguire complesse sequenze di azioni, grazie all'importante sviluppo della meccanica di precisione legata alla produzione di orologi.



**Fig. Il famoso modello dell'anatra costruita da Vaucanson, da un'illustrazione dell'Enciclopedia di Diderot e d'Alambert, 1751.**



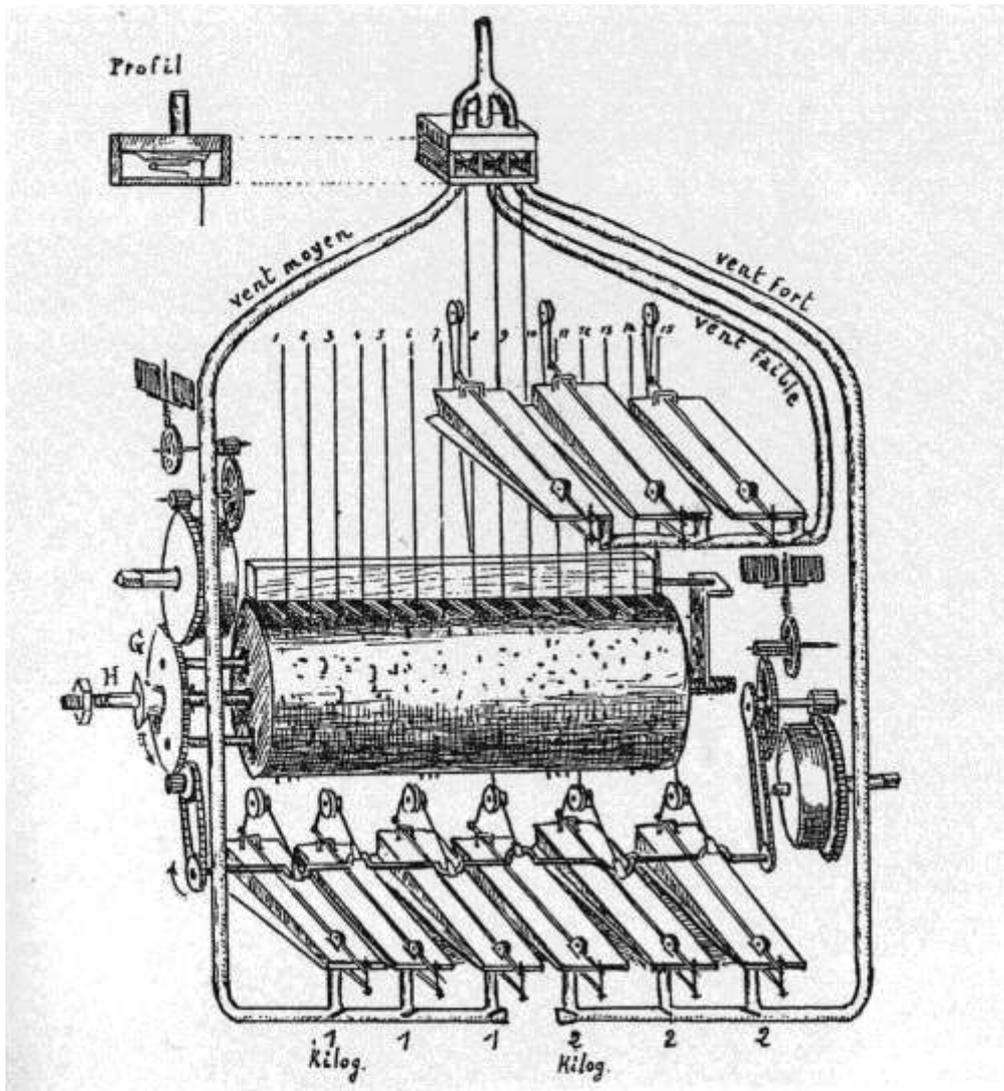
**Fig. Jacques de Vaucanson**

Celebri sono rimasti gli automi realizzati dal francese Jacques de Vaucanson (1709-1782), il quale a partire dal 1733 cominciò a costruire automi come il flautista (capace di imitare un suonatore di flauto), il tamburino e la celebre **anatra**.

Quest'ultimo automa, il più famoso, con oltre 400 pezzi, simula un'anatra che allunga il collo per prendere il grano dalla mano, l'inghiotte, lo digerisce e lo restituisce attraverso i canali abituali.

Sebbene questi automi fossero semplicemente delle curiosità, costruite allo scopo di stupire e prive di una reale utilità, probabilmente contribuirono ad influenzare Babbage portandolo verso l'idea di calcolatore programmabile, capace di eseguire sequenze di operazioni matematiche.

Il concetto di programmazione viene anticipato non solo negli automi, ma anche in alcuni **strumenti musicali in grado di riprodurre automaticamente motivi musicali**, come ad esempio i carillon e gli automi musicali. Anche l'osservazione di questi strumenti contribuì a condurre Babbage verso l'idea di programmazione.



**Fig. Meccanismi interni del flautista meccanico realizzato da de Vaucanson attorno al 1740.**

I **carillon** cominciarono a diffondersi verso la fine del '700 grazie al lavoro di orologiai svizzeri e in poco tempo divennero molto comuni nell'Europa centrale.

In questo congegno troviamo un tamburo cilindrico i cui denti specificano le note da suonare.

Il tamburo costituisce il **programma**, mentre ogni dente rappresenta un'**istruzione** (cioè una nota specifica da suonare). I meccanismi per far ruotare il tamburo e le lamelle metalliche che risuonano riproducendo le note musicali rappresentano l'**interprete**. Ogni nota viene riprodotta quando il corrispondente dente urta una data lamella metallica. Cambiando il tamburo è possibile riprodurre una nuova melodia.



AUDIO

[Musica 1](#): Aria di musica barocca n°1, realizzata dal musicista automa costruito dai Jaquet-Droz

[Audio 1](#): suono del carillon



## VIDEO

[Video 1](#): Replica dell'anatra di Vaucanson

[Video 2](#): Musicista androide che suona 8 musiche barocche

[Video 3](#): I segreti della musicista automa realizzata dai Jaquet-Droz

[Video 5](#): Automa disegnatore realizzata dai Jaquet-Droz

[Video 4](#): Meccanismo di controllo automa disegnatore realizzata dai Jaquet-Droz

[Video 5](#): automa per scrivere

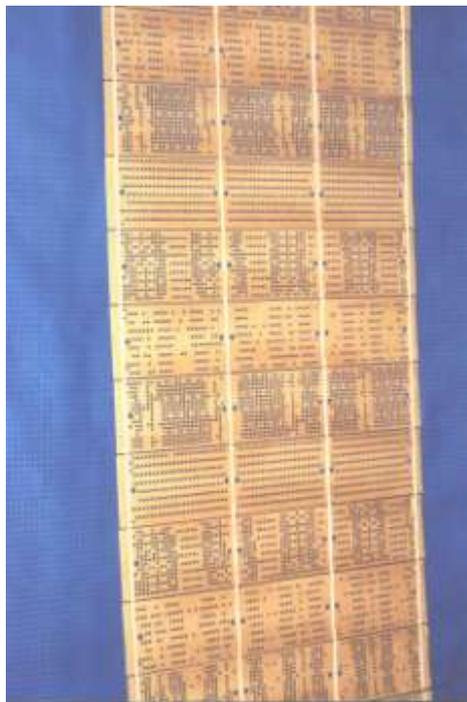
## Telaio Jacquard

Un contributo indiretto ma importante nello sviluppo del concetto di macchina programmabile si deve a **Joseph-Marie Jacquard** (1752-1834), che nel 1804 presentò all'esposizione universale di Parigi un sistema a schede perforate in grado di automatizzare le lavorazioni dei telai nello stabilimento di tessitura di seta del padre.



**Fig. Telaio Jacquard dell'Istituto d'Arte Sello di Udine.**

Bisogna dire che esperimenti per la realizzazione di telai automatici per tessitura erano stati fatti anche in precedenza, ma quello di Jacquard fu il primo a funzionare in modo affidabile e a diffondersi sistematicamente.



**Fig. Schede per un telaio Jacquard.**

In particolare, meccanismi simili alla ***scheda perforata di cartone*** erano stati sperimentati in precedenza in modo indipendente da alcuni francesi come Buchon (1725), Falcon (1728) e lo stesso de Vaucanson (1745), proprio per automatizzare alcune fasi del lavoro di tessitura.



*In a vivid demonstration of the power of his invention, Joseph-Marie Jacquard, using 10,000 punch cards, programmed a loom to weave a portrait of himself in black and white silk (above).*

**Fig Joseph-Marie Jacquard (1752-1834), un ritratto realizzato su tessuto con i telai Jacquard.**

Il telaio Jacquard rivoluzionò la tecnica della tessitura, permettendo di **realizzare tessuti con motivi anche molto complessi** grazie alle schede perforate e di ripeterli indefinitivamente indipendentemente dalla bravura dell'operaio addetto al telaio.

Nel telaio Jacquard, **la scheda perforata viene “letta” mediante una matrice di aghi metallici** montati su molle a spirale: la scheda consente l'uscita dei soli aghi in corrispondenza dei fori e blocca gli altri.

- La **presenza del foro** permette di alzare un certo liccio e quindi di alzare un certo numero di fili nell'ordito, mentre
- l'**assenza del foro** determina l'abbassamento del liccio. In questo modo, la scheda permette di controllare il movimento dei licci al fine di preparare un tessuto secondo un determinato disegno.

Prima di iniziare il lavoro vero e proprio di tessitura, ovviamente è necessario preparare la lunga sequenza di schede perforate che codifica i motivi da tracciare sul tessuto, ma una volta che questo lavoro è stato fatto, il tessuto può essere replicato quante volte si vuole.

Le schede perforate hanno influenzato la storia dell'informatica in vari momenti:

- la scheda perforata di Jacquard suggerì prima a Babbage e poi
- ad Hollerith ed infine
- agli inventori dei primi computer il metodo per immettere nelle macchine le informazioni (dati o programmi) da elaborare.



VIDEO

Video: telaio Jacquard in funzione

## La Macchina delle Differenze di Babbage

Babbage non giunse immediatamente all'idea del calcolatore programmabile, ma prima concepì una macchina parzialmente “programmabile” in grado di realizzare tavole numeriche utilizzando il metodo alle differenze finite.



Fig. Prima pagina di un testo del 1796 con le tavole logaritmiche (collezione C. Bonfanti).

Il problema iniziale che portò Charles Babbage (1791-1871) al concetto di calcolatore programmabile è quello della **realizzazione di tavole matematiche precise e prive di errori.**

Le soluzioni con cui egli cercò di risolvere tale problema lo impegnarono praticamente per tutta la vita e segnarono la nascita del concetto di calcolatore programmabile.

La realizzazione di una macchina di calcolo per stampare direttamente tavole matematiche avrebbe dovuto risolvere in un solo colpo i diversi problemi incontrati nella preparazione delle tavole.

**Quanto fosse pervasivo il calcolo mediante tavole** lo si può comprendere anche dal fatto che Babbage non pensò di realizzare una macchina per sostituire l'uso delle tavole, ma per produrle prive di errori<sup>1</sup>.

A noi questa scelta può sembrare strana dal momento che oggi i calcolatori hanno reso inutile l'uso delle tavole matematiche, ma analizzando meglio il contesto storico ci si rende conto quanto fosse più logico produrre tavole.

- Innanzi tutto, le tavole potevano essere facilmente riprodotte in gran numero e a prezzi ragionevoli; una macchina in grado di rimpiazzare le tavole avrebbe comunque avuto costi enormi e non era immaginabile che tutti coloro che avevano bisogno di uno strumento di calcolo potessero com-

prare una simile macchina.

- In secondo luogo, le tavole erano facilmente utilizzabili, trasportabili in qualunque posto, potevano “memorizzare” anche processi di calcolo estremamente complessi e, infine, non richiedevano a chi le utilizzava la conoscenza dei processi di calcolo necessari per produrle.



## MULTIMEDIA

[Video 1](http://misweb.cbi.msstate.edu/~rpearson/videos): Introduzione a Babbage [da <http://misweb.cbi.msstate.edu/~rpearson/videos> ]

Il primo tentativo in tal senso è legato alla progettazione della **Macchina delle Differenze** (***Difference Engine***), a cui cominciò a pensare attorno al 1821. Questa macchina che avrebbe dovuto generare direttamente le tavole matematiche desiderate sfruttando un particolare metodo matematico di calcolo, il **metodo delle differenze finite**.

L'idea non era del tutto nuova poiché già in precedenza, attorno al 1784, Johan Müller (*"Beschreibung seiner neu erfundenen Rechenmaschine"*, 1786") aveva suggerito di sfruttare il metodo delle differenze finite per il calcolo di tavole matematiche mediante una macchina calcolatrice, ma la cosa non aveva avuto un seguito.

In questo esempio il metodo delle differenze finite è usato per ricavare la tabella dei cubi, cioè  $y = x^3$ .

$x$	$x^3$	1° diff.	2° diff.	3° diff.
1	1			
2	8	7		
3	27	19	12	
4	64	37	18	6
5	125	61	24	6

a) Calcolo delle differenze finite successive. La prima differenza si trova sottraendo coppie successive di cubi; applicando la stessa procedura a coppie di differenze prime si ottengono le differenze seconde. Quando si ripete il processo per le differenze seconde, si trova che le differenze terze sono costanti ed uguali a 6.

$x$	$x^3$	1° diff.	2° diff.	3° diff.
1	1			
2	8	7	12	
3	27	19	18	6
4	64	37	24	6
5	125	61	30	6
6	216	91		

b) Calcolo di un nuovo termine. Con un processo inverso a quello per ottenere le differenze, è possibile generare nuovi termini della tavola mediante somme successive. Nella tabella viene mostrato come ricavare il cubo di 6, a partire dalle differenze terze.

**Fig. Metodo delle differenze finite.**

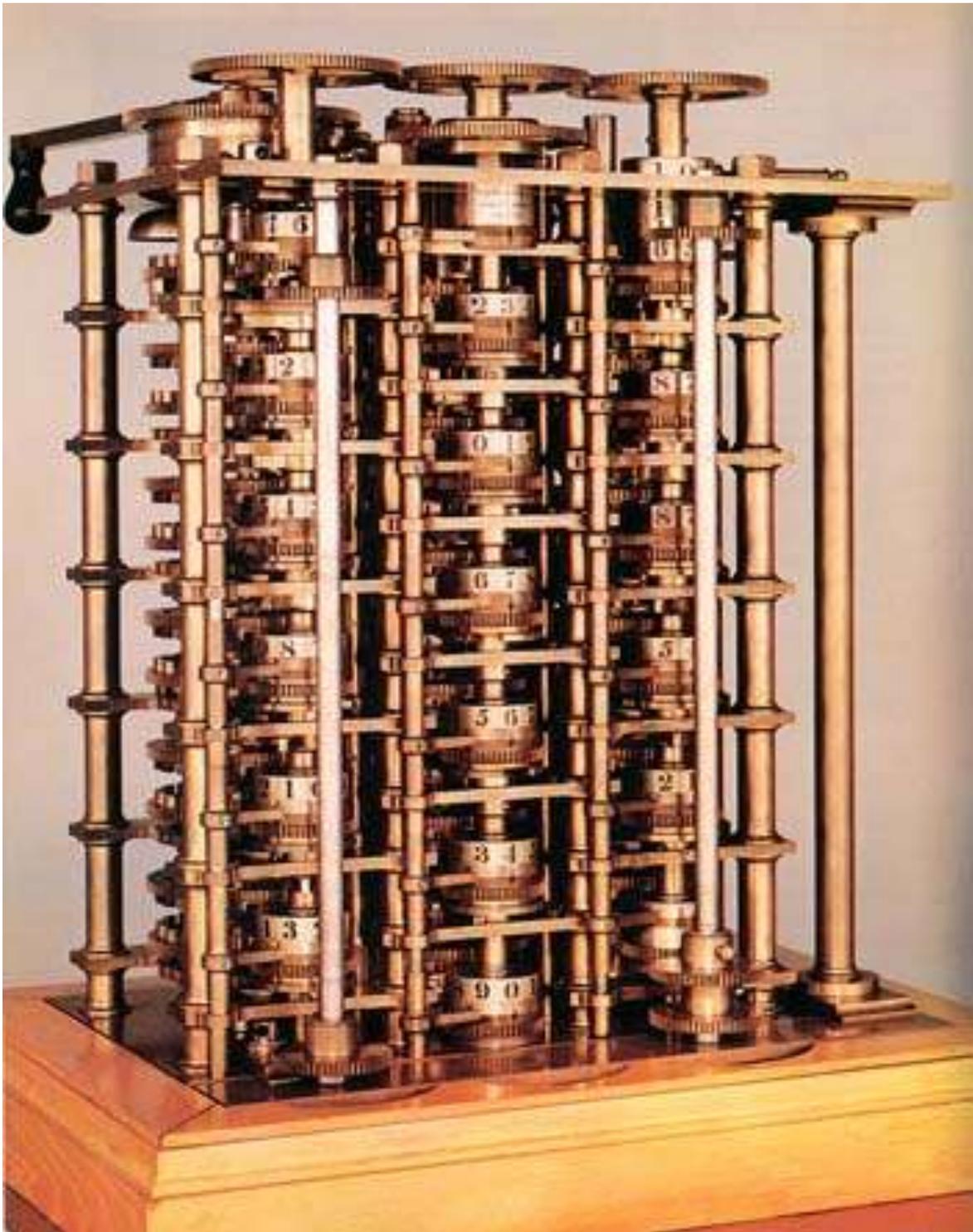
Due sono i principali vantaggi derivanti dall'uso del metodo delle differenze finite:

- si tratta di un metodo di calcolo molto generale e quindi applicabile ad una grande varietà di tavole matematiche;
- è un metodo iterativo che richiede esclusivamente l'esecuzione ripetuta di un grande numero di somme (con numeri positivi o negativi).

In tal modo, **una macchina basata su questo metodo avrebbe potuto sfruttare come meccanismo base un addizionatore meccanico replicato molte volte** in modo da eseguire tutte le operazioni necessarie.

Secondo il progetto di Babbage, **ogni numero (in notazione decimale) viene rappresentato su una colonna** di ruote e, in particolare, ogni cifra è rappresentata da una ruota su cui sono incise le dieci cifre; un'apposita ruota serve per il segno del numero.

All'inizio i numeri della tabella di base e le differenze finite di vario ordine, preventivamente calcolate, che servono a calcolare nuovi valori, vengono inseriti manualmente sulle colonne di ruote dentate.



**Fig. Una parte della macchina delle Differenze montata nel 1832. Dal punto di vista meccanico, rappresenta uno degli esempi migliori della precisione meccanica raggiunta in quel tempo.**

Ad esempio, nel caso della tavola dei cubi sopra considerata, servono almeno quattro colonne: nella prima colonna T è memorizzato il valore 125 (cubo di 5), nella seconda D1 la prima differenza finita cioè 61, nella terza la seconda differenza finita D2 cioè 24 e, infine nell'ultima D3 la terza differenza finita, cioè 6.

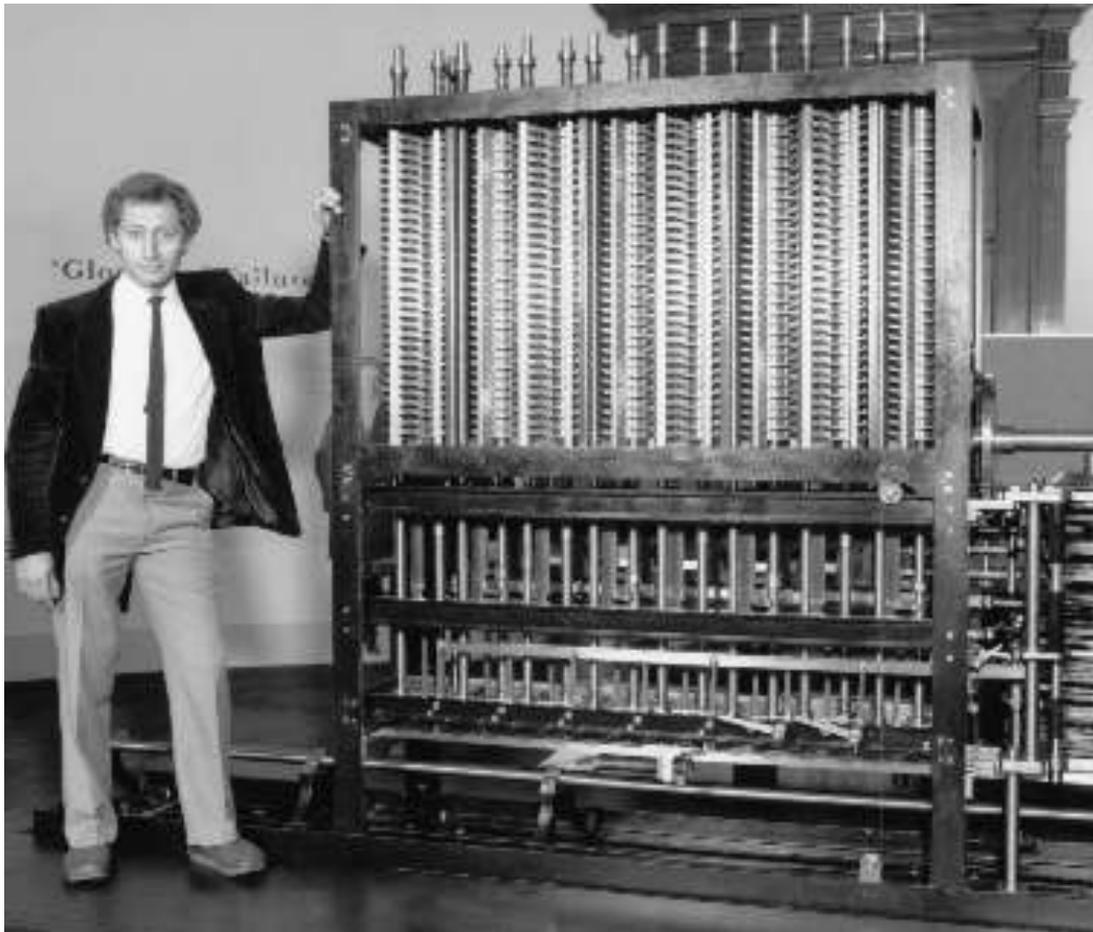
Una volta inseriti tutti i numeri, il processo di costruzione di un nuovo valore della tavola numerica viene eseguito innescando a catena una serie di addizioni.

Nel nostro esempio, il valore della colonna D3 viene addizionato al valore presente in D2, cioè 30, e memorizzato in D2 stesso; il valore così ottenuto in D2 va poi addizionato a D1 ottenendo 91, memorizzato in D1 stesso; infine, il valore di D1 va aggiunto a quello presente in T ottenendo quindi 216, che rappresenta il cubo di 6; ripetendo in modo identico il processo di calcolo si potrà ottenere il cubo  $7^3$  e così via.

Nonostante i numerosi tentativi, **Babbage non riuscì mai a completare la macchina** a causa delle numerose difficoltà tecniche per il montaggio dei componenti meccanici richiesti e per la notevole precisione meccanica necessaria nella preparazione di ogni singolo componente e, soprattutto, per la mancanza di fondi sufficienti.

Inizialmente il governo inglese diede a Babbage una forte somma per la realizzazione di questa macchina, ma visto che i risultati del lavoro di sviluppo tardavano ad arrivare, questo sostegno economico venne a mancare.

Alla fine Babbage rinunciò alla realizzazione di questa macchina... ma una decina di anni più tardi qualcun altro riuscì nell'impresa abbandonata da Babbage.



**Fig. La Macchina delle Differenze 2, ricostruita secondo i disegni di Babbage nel 1991 presso il Museo delle Scienze di Londra.**

Per dimostrare correttezza e la fattibilità delle idee di Babbage, nel 1991 **il Museo delle Scienze di Londra ha costruito una versione della Macchina delle Differenze** seguendo in modo fedele i progetti dettagliati della seconda versione della Macchina delle Differenze progettata da Babbage e utilizzando le stesse tecnologie meccaniche disponibili al tempo di Babbage.



VIDEO

[Video](#): Babbage e la sua Macchina delle Differenze

[Video 1](#): Replica della Macchina delle Differenze

[Video 2](#): Replica della Macchina delle Differenze

[Video3](#): Macchina delle Differenze n.2 (Museo Londra)

[Video4](#): Macchina delle Differenze n.2 (Museo Londra)

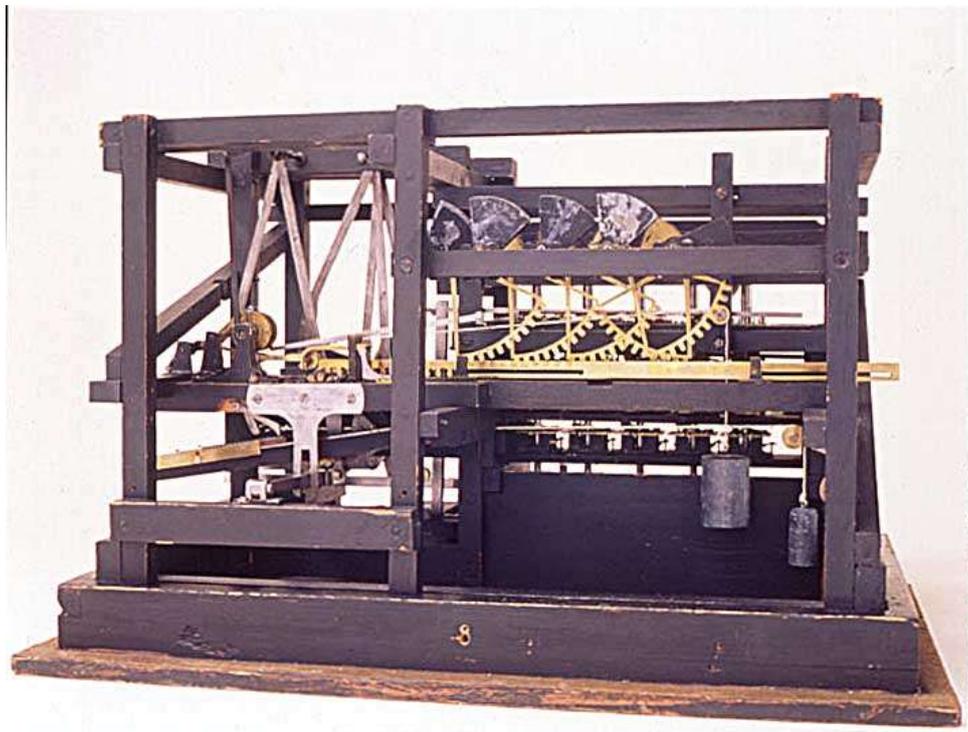
Link

<http://www.meccano.us/>

## La Macchina delle Differenze dei Sheutz



**Fig. Ritratto di Georg Sheutz.**



**Fig. Macchina delle Differenze (primo modello) con stampante realizzata da Georg e Edward Sheutz in Svezia. (dimensione 54 x 86 x 65 cm) Nordiska Museet, Stockholm.**

Curiosamente, una versione semplificata della macchina delle differenze fu invece progettata e realizzata dagli svedesi Georg e Edvard Sheutz (padre e figlio) nel 1843 i quali riuscirono a vendere alcuni modelli (in molti documenti invece di Sheutz si trova scritto Scheutz). Georg Sheutz oltre che avvocato era un traduttore di opere inglesi e questa attività lo portò a conoscere il lavoro di Babbage.

2500	30754	2550	40654	2600	41497	2650	42325	2700	43196	2750	43933
2501	30811	2551	40671	2601	41514	2651	42341	2701	43153	2751	43949
2502	30839	2552	40688	2602	41531	2652	42357	2702	43169	2752	43965
2503	30840	2553	40705	2603	41547	2653	42374	2703	43185	2753	43981
2504	30863	2554	40722	2604	41564	2654	42390	2704	43201	2754	43996
2505	30881	2555	40739	2605	41581	2655	42406	2705	43217	2755	44012
2506	30898	2556	40756	2606	41597	2656	42423	2706	43233	2756	44028
2507	30915	2557	40773	2607	41614	2657	42439	2707	43249	2757	44044
2508	30933	2558	40790	2608	41631	2658	42455	2708	43265	2758	44059
2509	30950	2559	40807	2609	41647	2659	42472	2709	43281	2759	44075
2510	30967	2560	40824	2610	41664	2660	42488	2710	43297	2760	44091
2511	30985	2561	40841	2611	41681	2661	42504	2711	43313	2761	44107
2512	40002	2562	40858	2612	41697	2662	42521	2712	43329	2762	44122
2513	40019	2563	40875	2613	41714	2663	42537	2713	43345	2763	44138
2514	40037	2564	40892	2614	41731	2664	42553	2714	43361	2764	44154
2515	40054	2565	40909	2615	41747	2665	42570	2715	43377	2765	44170
2516	40071	2566	40926	2616	41764	2666	42586	2716	43393	2766	44185
2517	40088	2567	40943	2617	41780	2667	42602	2717	43409	2767	44201
2518	40106	2568	40960	2618	41797	2668	42619	2718	43425	2768	44217
2519	40123	2569	40976	2619	41814	2669	42635	2719	43441	2769	44232
2520	40140	2570	40993	2620	41830	2670	42651	2720	43457	2770	44248
2521	40157	2571	41010	2621	41847	2671	42667	2721	43473	2771	44264
2522	40175	2572	41027	2622	41863	2672	42684	2722	43489	2772	44279
2523	40192	2573	41044	2623	41880	2673	42700	2723	43505	2773	44295
2524	40209	2574	41061	2624	41896	2674	42716	2724	43521	2774	44311
2525	40226	2575	41078	2625	41913	2675	42733	2725	43537	2775	44326
2526	40243	2576	41095	2626	41929	2676	42749	2726	43553	2776	44342
2527	40261	2577	41111	2627	41946	2677	42765	2727	43569	2777	44358
2528	40278	2578	41128	2628	41963	2678	42781	2728	43584	2778	44373
2529	40295	2579	41145	2629	41979	2679	42797	2729	43600	2779	44389
2530	40312	2580	41162	2630	41996	2680	42813	2730	43616	2780	44404
2531	40329	2581	41179	2631	42012	2681	42830	2731	43632	2781	44420
2532	40346	2582	41196	2632	42029	2682	42846	2732	43648	2782	44436
2533	40364	2583	41212	2633	42046	2683	42862	2733	43664	2783	44451
2534	40381	2584	41229	2634	42062	2684	42878	2734	43680	2784	44467
2535	40398	2585	41246	2635	42078	2685	42894	2735	43696	2785	44483
2536	40415	2586	41263	2636	42095	2686	42911	2736	43712	2786	44498
2537	40432	2587	41280	2637	42111	2687	42927	2737	43727	2787	44514
2538	40449	2588	41296	2638	42127	2688	42943	2738	43743	2788	44529
2539	40466	2589	41313	2639	42144	2689	42959	2739	43759	2789	44545
2540	40483	2590	41330	2640	42160	2690	42975	2740	43775	2790	44560
2541	40500	2591	41347	2641	42177	2691	42991	2741	43791	2791	44576
2542	40518	2592	41363	2642	42193	2692	43008	2742	43807	2792	44592
2543	40535	2593	41380	2643	42210	2693	43024	2743	43823	2793	44607
2544	40552	2594	41397	2644	42226	2694	43040	2744	43838	2794	44623
2545	40569	2595	41414	2645	42243	2695	43056	2745	43854	2795	44638
2546	40586	2596	41430	2646	42259	2696	43072	2746	43870	2796	44654
2547	40603	2597	41447	2647	42275	2697	43088	2747	43886	2797	44669
2548	40620	2598	41464	2648	42292	2698	43104	2748	43902	2798	44685
2549	40637	2599	41481	2649	42308	2699	43120	2749	43917	2799	44700
2550	40654	2600	41497	2650	42325	2700	43136	2750	43933	2800	44716

Fig. Una delle pagine delle tavole matematiche prodotte con la macchina delle differenze di Georg e Edvard Sheutz, 1857.

**Il primo prototipo, completato nel 1843**, produsse la prima tavola numerica con stampa meccanica dei risultati.

La struttura di questa macchina era più semplice di quella progettata da Babbage e questo fece sorgere vari dubbi sulla necessità di grande precisione richiesta da Babbage per la preparazione delle parti meccaniche.

Un secondo modello poteva lavorare con numeri di 15 cifre e sfruttava il metodo delle differenze fino al 4° ordine e arrotondava i risultati a otto cifre. Uno dei primi acquirente fu l'Osservatorio Astronomico di Albany negli Stati Uniti.



MULTIMEDIA

[Video 1: Macchina delle differenze \[da http://kmt.hku.nl/~stefan1/filmpjes/difference-engine.MOV \]](http://kmt.hku.nl/~stefan1/filmpjes/difference-engine.MOV)

## L'anello di congiunzione

Al contrario delle calcolatrici meccaniche del tempo, la Macchina delle Differenze, una volta avviata, non avrebbe richiesto l'intervento di un operatore ma avrebbe potuto eseguire autonomamente tutte le operazioni previste nell'algoritmo delle differenze finite.

La Macchina delle Differenze pur non essendo ancora un calcolatore programmabile nel senso moderno, **offre una flessibilità computazionale certamente superiore a quella della calcolatrice macchine fino ad allora realizzate**. Essa permette infatti di calcolare diverse funzioni algebriche fornite di volta in volta in ingresso mediante una tabella di "valori campione" della funzione. **La funzione desiderata non viene quindi computata a partire esplicitamente da un algoritmo di calcolo, ma è nascosta (si dice "compilata") nella tabella di valori campione iniziale e nella tabella delle differenze divise.**

Questa macchina quindi può quindi essere giustamente considerata l'anello di collegamento tra le calcolatrici meccaniche a logica cablata e il calcolatore programmabile vero e proprio.

## Macchina Analitica

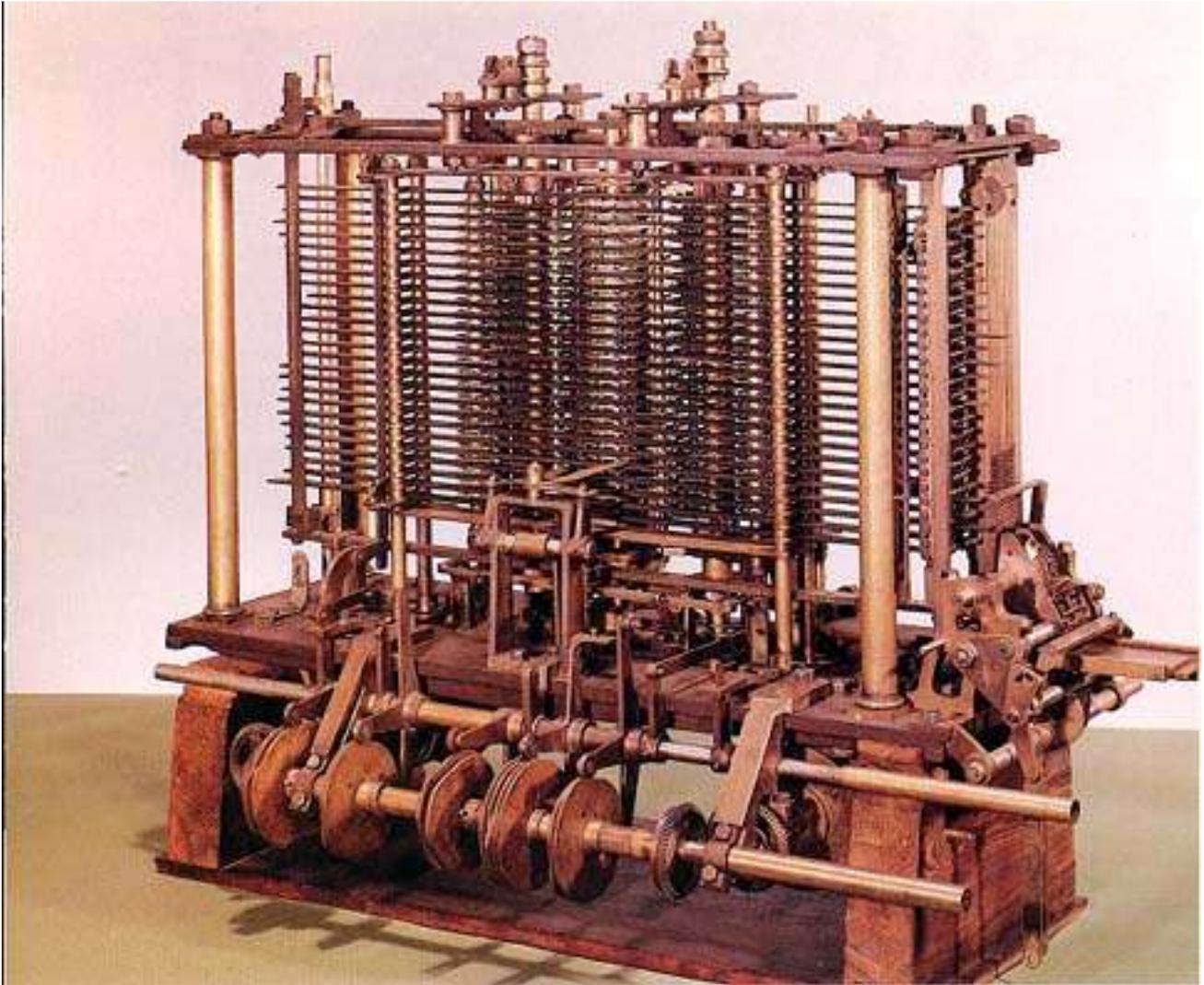


Fig. Charles Babbage.

Come abbiamo detto, al matematico ed ingegnere inglese Charles Babbage va il merito di essere stato il primo a proporre l'idea di un calcolatore di tipo programmabile.

In particolare, questa idea si concretizzò nella progettazione della **Macchina Analitica** (**Analytical Engine**), macchina a cui cominciò a dedicarsi nel 1834, fallita l'esperienza con la Macchina delle Differenze.

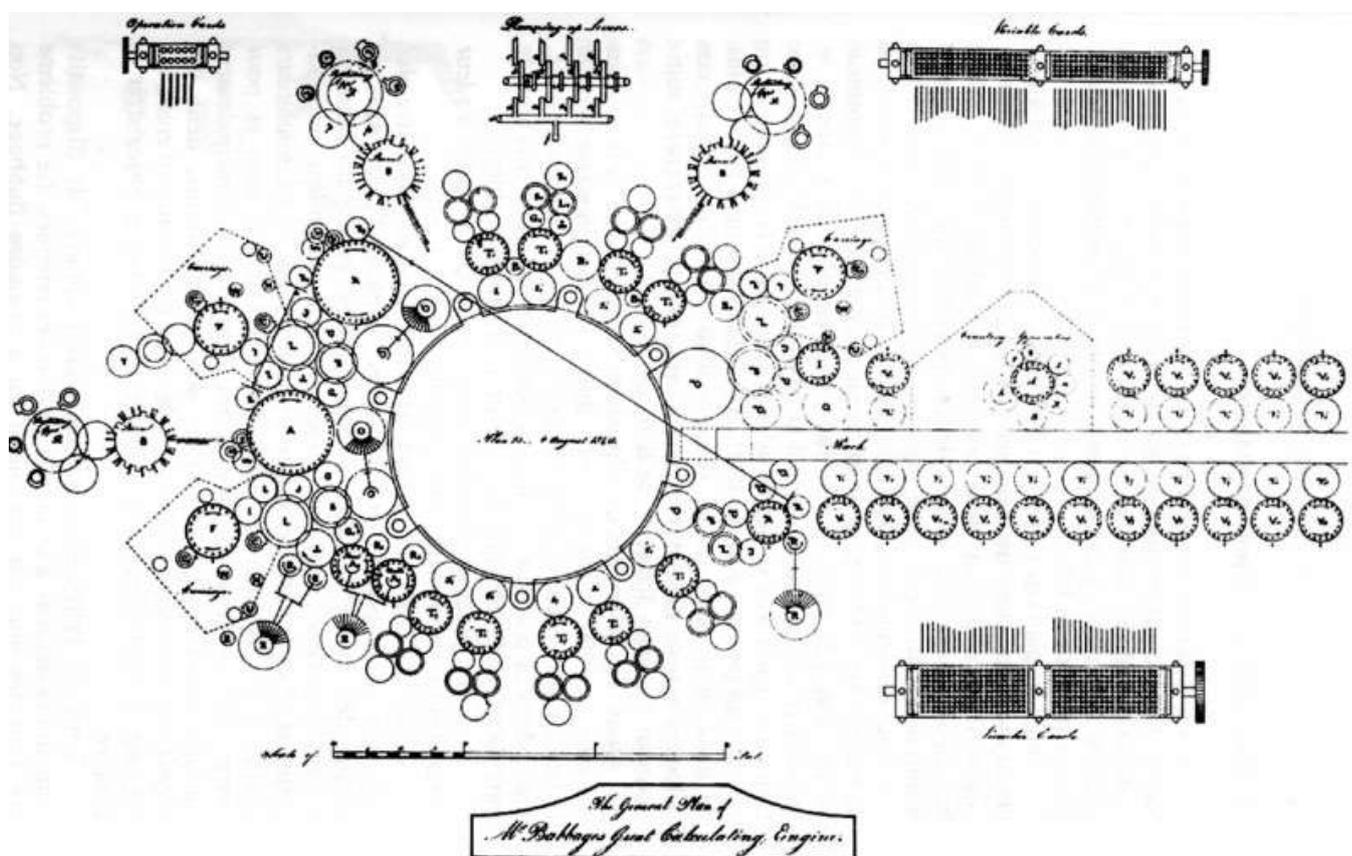
Questa nuova macchina doveva essere, nei progetti di Babbage, un **calcolatore "programmabile"**, cioè uno strumento di calcolo "universale" le cui operazioni potevano essere di volta in volta specificate insieme ai dati da elaborare.

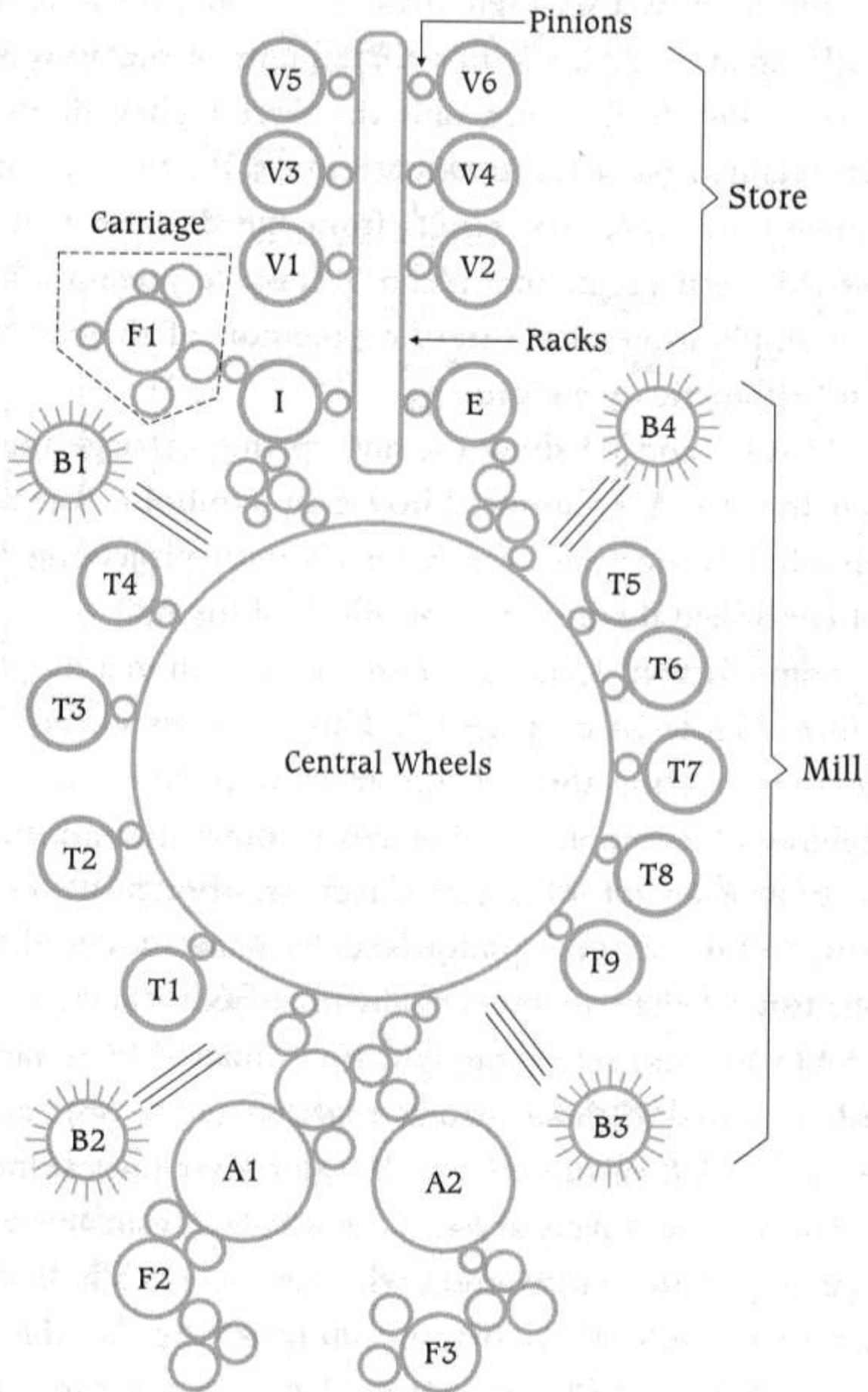


**Fig. Una parte della Macchina Analitica (mill, store e parte di stampa) in costruzione nel 1871, alla morte di Babbage. Sono visibili due colonne che permettevano di memorizzare i numeri.**

Secondo il progetto (del 1837), la **Macchina Analitica**, azionata da un motore a vapore, avrebbe dovuto comporsi di quattro parti fondamentali:

1. un'unità di calcolo (*mill*),
2. la *memoria* (*store*),
3. la **sezione di ingresso** (lettore di schede perforate, ispirate a quelle dei telai Jacquard) e
4. la **sezione di uscita** (stampa dei dati in uscita).





La **memoria** per i numeri in ingresso e per i risultati intermedi sarebbe stata costituita da colonne composte da dischi numerati in grado di raccogliere e contenere da 100 a 1000 numeri.

Ogni colonna di ruote doveva permettere di memorizzare un numero fino a 50 cifre decimali. I dati venivano trasferiti dalla memoria all'unità di calcolo dove era possibile eseguire una delle quattro operazioni aritmetiche con un procedimento meccanico.

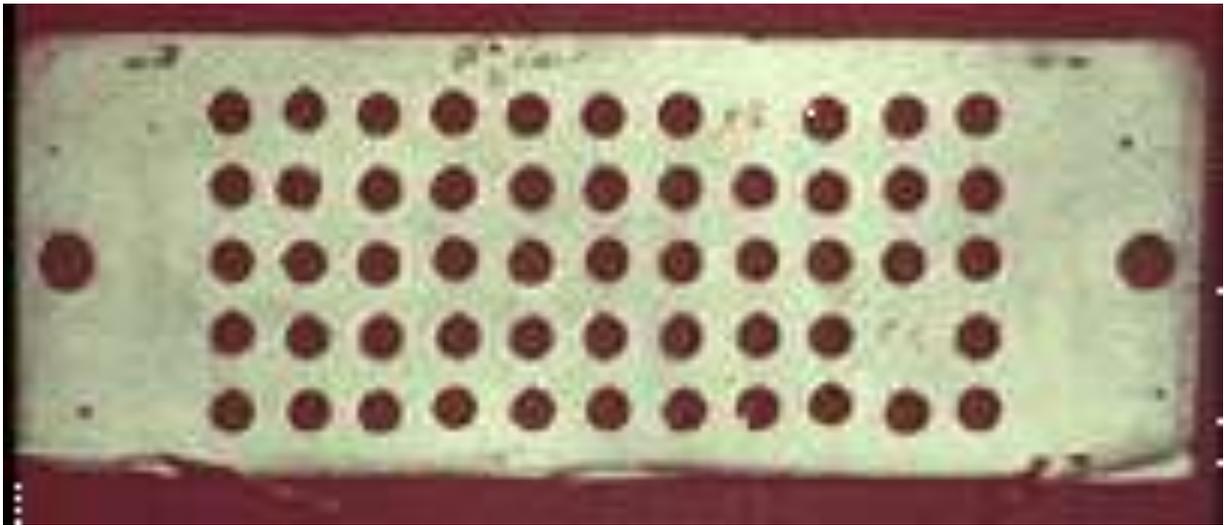
Diversamente dalla Macchina delle Differenze, dove le colonne costituivano anche dispositivi addizionatori, qui non erano complicati da quegli ingranaggi necessari per eseguire i calcoli e fungevano solo da organi di memorizzazione.

Gli operandi venivano invece trasferiti dalla memoria all'unità di calcolo dove era possibile eseguire con un procedimento meccanico una delle quattro operazioni aritmetiche e spedire il risultato indietro nella memoria in una qualche variabile

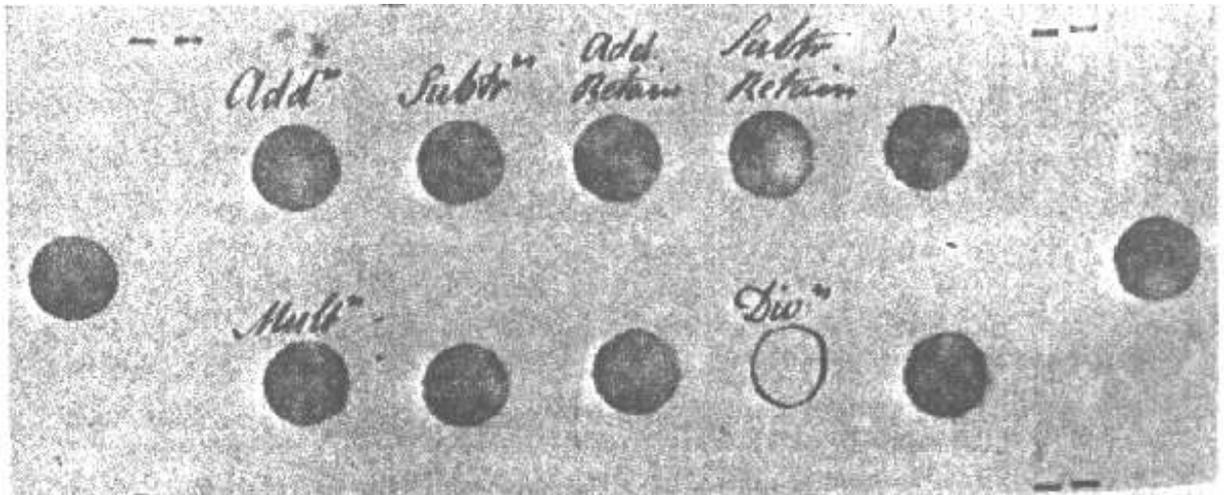
In ogni **istruzione elementare** il numero memorizzato su una colonna poteva essere combinato secondo una delle quattro operazioni con quello di un'altra colonna e il risultato collocato su una terza colonna.

Un **programma** era quindi costituito da una sequenza di istruzioni elementari che specificano le operazioni aritmetiche da svolgere sui dati iniziali e parziali.

2	-	${}^1V_4 - {}^1V_1$	${}^2V_4$ .....
3	+	${}^1V_5 + {}^1V_1$	${}^2V_5$ .....
4	÷	${}^2V_5 \div {}^2V_4$	${}^1V_{11}$ .....
5	÷	${}^1V_{11} \div {}^1V_2$	${}^2V_{11}$ .....



(a) number card



(b) operation card

**Fig. Schede progettate da Babbage per la Macchina Analitica: sopra una scheda dati con la costante  $\pi$  e sotto una scheda istruzioni.**

Tutto il processo di calcolo doveva essere governato in modo opportuno con le **schede perforate**, idea presa a prestito dal telaio Jacquard.

- Le schede contenenti i dati iniziali o le costanti numeriche erano denominate da Babbage **number cards**; i fori di queste schede rappresentavano le diverse cifre di un numero.
- Un altro tipo di schede, le **variable cards**, serviva per riferire la memoria: una variable card specificava la cella di memoria (cioè una data colonna di ruote) da cui prelevare un valore numerico da elaborare oppure in cui memorizzare un dato valore.
- Infine, le istruzioni per operare sui dati venivano specificate su schede perforate, denominate **operation cards**. Pertanto, la lettura delle schede avrebbe richiesto tre distinti lettori di schede.

In un articolo del 1837, Babbage ipotizza anche l'uso di altre schede, le **combinatorial cards**, che, cosa molto interessante dal punto di vista informatico, avrebbero dovuto gestire aspetti relativi al controllo dei programmi, come ad esempio la realizzazione di cicli.

Alla fine del 1840 Babbage venne invitato a **Torino** per un congresso scientifico ed ebbe l'occasione di presentare il progetto della sua Macchina Analitica, che riscosse l'interesse di vari scienziati.

In particolare, l'ing. **Luigi Menabrea**, uno dei partecipanti al Congresso, approfondì il funzionamento della Macchina Analitica e, visto che Babbage non aveva ancora trovato modo di darle una descrizione sistematica, stilò un rapporto descrittivo della macchina (***Notions sur la machine analytique de Charles Babbage***, 1842). Quello di Torino fu anche il primo congresso dove si parlò macchine programmabili, di programmi, ossia dei primi concetti fondamentali dell'informatica.

La Macchina Analitica rappresentò un progetto estremamente innovativo anche sotto il profilo della programmazione. Infatti, Babbage aveva immaginato **non solo di eseguire sequenze lineari di istruzioni**, ma aveva pianificato di dotarla di istruzioni di controllo per i **salti condizionati** (cioè, in base al verificarsi o meno di una data condizione possono essere eseguite sequenze diverse di istruzioni) e **istruzioni di ciclo** (per ripetere più volte una data sequenza di istruzioni).

Questo fatto è significativo della lungimiranza di Babbage, specie se si considera che nei primi calcolatori elettronici programmabili (Z3, Harvard Mark I, ecc.) realizzati cento anni più tardi le istruzioni di controllo, necessarie per superare la sequenzialità nell'esecuzione delle istruzioni, non erano considerate.

**La progettazione di questa macchina tenne occupato Babbage per molti anni, ma la complessità e la precisione richiesta per i suoi meccanismi e la mancanza di fondi resero impossibile la realizzazione concreta di tale strumento e, infatti, Babbage morirà nel 1871 senza poter vedere realizzato il suo sogno.**

Purtroppo, il lavoro di Babbage e il suo concetto di macchina programmabile fu in seguito dimenticato quasi del tutto e dovette essere praticamente riscoperto un secolo più tardi, nell'età eroica del calcolatore elettronico.

## Ada Byron



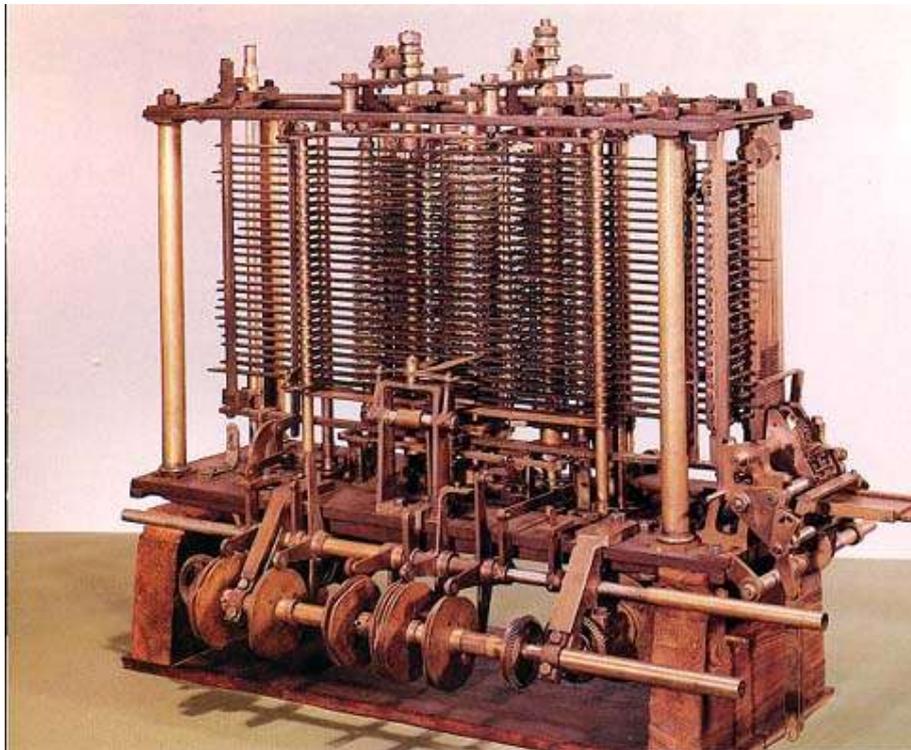
**Fig. Ada Byron, contessa di Lovelace (circa a 19 anni).**

Al lavoro di progettazione della Macchina Analitica, Babbage contribuì indirettamente **Ada Augusta Byron** (1815-1852), contessa di Lovelace, figlia del famoso poeta inglese Lord George Byron.

Nonostante gli studi scientifici fossero di fatto preclusi alle donne nell'Ottocento (fino agli inizi del Novecento le università erano aperte solo agli uomini), con l'aiuto di alcune persone **Ada Byron riuscì a ricevere un'educazione scientifica** e ad eccellere nel campo della matematica.

Lady Byron collaborò con Babbage seguendo i progetti della Macchina Analitica ed elaborando importanti commenti sul concetto di programmazione.

Ada aveva conosciuto Babbage a Londra nel 1833 ed era rimasta affascinata dal suo lavoro sulla Macchina delle Differenze, ma allora aveva solo 18 anni.



**Fig. Una parte della Macchina Analitica (mill, store e parte di stampa) in costruzione nel 1871, alla morte di Babbage. Sono visibili due colonne che permettevano di memorizzare numeri.**

**Nel 1842 Lady Byron tradusse dall'italiano all'inglese il testo dell'ingegnere italiano Menabrea che descriveva struttura e il funzionamento della Macchina Analitica sulla base della conferenza che Babbage aveva tenuto qualche tempo prima a Torino.**

**SKETCH**  
**OF THE**  
**ANALYTICAL ENGINE**

**INVENTED BY**  
**CHARLES BABBAGE, Esq.**

**By L. F. MENABREA,**

**OFFICER OF THE MILITARY ENGINEERS.**

**WITH NOTES BY THE TRANSLATOR.**

---

**(Extracted from the 'Scientific Memoirs,' vol. iii.)**

---

**LONDON:**  
**PRINTED BY RICHARD AND JOHN E. TAYLOR,**  
**RED LION COURT, FLEET STREET.**  
**1843.**

**Fig. La descrizione di Menabrea della Macchina Analitica, tradotta in inglese da Ada Byron.**

Ada Byron non si limitò solo a tradurre il testo, ma lo arricchì di numerose e importanti osservazioni.

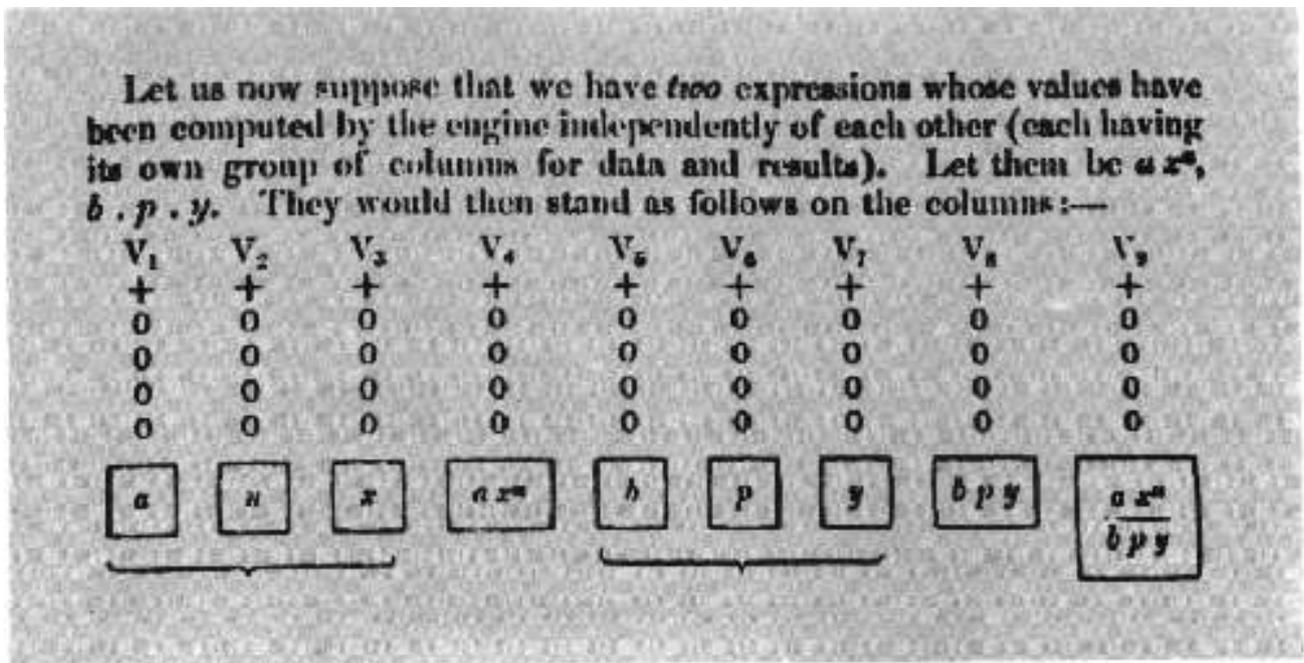


Fig. Frammento di programma scritto da Ada Byron insieme a Babbage per il calcolo della serie dei numeri di Bernoulli.

Anche se la Macchina Analitica non fu mai realizzata, Ada, con il contributo di Babbage, scrisse i primi programmi per questo calcolatore.

In una delle note alla traduzione del testo di Menabrea viene presentato **un programma** piuttosto complesso per calcolare la serie dei **numeri di Bernoulli**. Fino ad allora tutti gli algoritmi erano stati sempre scritti solo per l'uomo, mentre **ora cominciano ad essere pensati per una macchina**.



In queste note sulla Macchina Analitica, Ada Byron **si spingerà ad immaginare per questa macchina non solo calcoli di tipo numerico, ma anche attività come il calcolo simbolico e perfino la composizione automatica di musica.**

Lady Byron fu una delle poche persone del tempo ad apprezzare e a comprendere pienamente il lavoro di Babbage.

Purtroppo le enormi difficoltà incontrate da Babbage nel portare avanti il progetto di questa macchina finirono per bloccare gli studi di Ada sul **concetto di programmazione** e così per alcuni anni si interessò ad altri lavori scientifici senza però poter raggiungere risultati di rilievo come quelli sulla Macchina Analitica.

Agli inizi del 1852 cominciò a soffrire di forti dolori e purtroppo nello stesso anno, **a soli 37 anni, fu stroncata da un male incurabile.**

Negli anni '70, in onore di Lady Byron, considerata come la prima programmatrice della storia, uno dei linguaggi di programmazione venne chiamato "Ada".