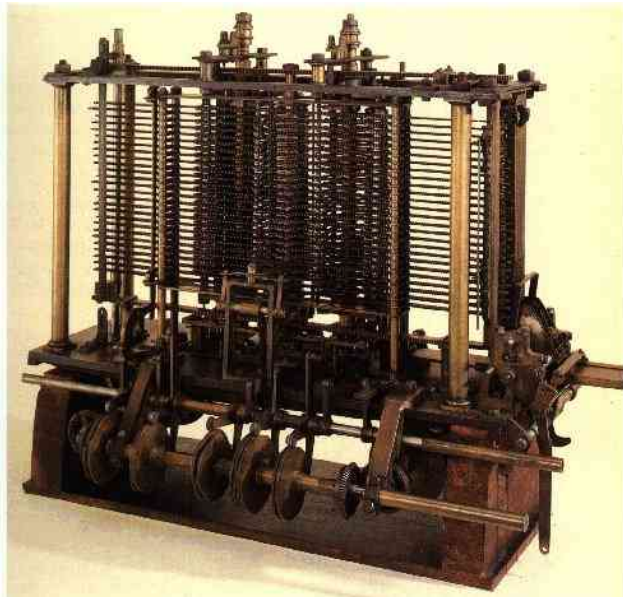


Numeri e Macchine in Classe

Paolo Giangrandi

Progetto di un Modulo Didattico



Il Ciclo dell'Informazione

**Comunicare
Elaborare
Interpretare**

**PROGETTO
SeT - 2001**

**Liceo Scientifico "N. Copernico" - Udine
Università degli Studi di Udine
gennaio 2001**

Sommario

Motivazioni ed Obiettivi Generali	5
1. Organizzazione del Modulo	7
1.1. Destinatari e contesto didattico	7
1.2. Articolazione del modulo didattico	7
1.3. Struttura di un'unità didattica	8
1.4. Materiale didattico utilizzato	9
1.5. Valutazione degli allievi	10
2. Contenuti del Modulo Didattico	11
2.1. Articolazione del modulo in unità didattiche	11
2.2. Sommario sintetico dei contenuti delle unità didattiche	12
3. Descrizione delle Unità Didattiche	17
Unità 1: Strumenti primitivi per la rappresentazione dei numeri	17
Unità 2: Calcolatori meccanici	20
Unità 3: Calcolatori programmabili	25
Unità 4: L'architettura fisica del computer moderno	29
Unità 5: Il software	35
Bibliografia	37
Siti Internet	39

NUMERI E MACCHINE IN CLASSE: Progetto di un percorso didattico sulla storia degli strumenti di calcolo

Paolo Giangrandi
I.T.I. "A. Malignani" – Udine

Motivazioni ed Obiettivi Generali

Le radici del computer sono molto più antiche di quanto si possa pensare. Sebbene il calcolatore, come noi oggi lo conosciamo, sia stato inventato solo negli anni della seconda guerra mondiale, l'uso di strumenti utili per il calcolo matematico si riscontra già nelle antiche civiltà con all'introduzione delle prime nozioni di matematica. L'obiettivo di questo modulo didattico è quello di ripercorrere questa lunga storia, dalle radici, caratterizzate da strumenti molto semplici come l'abaco, ai moderni calcolatori elettronici.

Oggi, l'uso del calcolatore è stato esteso ai più svariati contesti spezzando il legame storico esistente tra calcolatore e matematica. Tuttavia, la storia degli strumenti di calcolo è stata per molti secoli intrecciata in modo profondo con quella della matematica e proprio questo legame costituisce il tema centrale del lavoro qui presentato. Tre, in particolare, sono gli aspetti che in questo modulo vogliamo evidenziare riguardo all'evoluzione dei calcolatori:

- illustrare le diverse soluzioni tecnologiche impiegate nel cammino che conduce dai primi rudimentali strumenti di calcolo ai computer più sofisticati dell'ultima generazione; vedremo quindi il passaggio dalla tecnologia meccanica a quella elettronica e, inoltre, vedremo come il software si sia imposto come tecnologia complementare a quella elettronica nel cambiare il volto dei moderni calcolatori;
- far comprendere agli studenti i principi matematici che sono alla base di vari strumenti di calcolo attraverso la loro ricostruzione: la similitudine dei triangoli applicata al compasso di Galileo, i logaritmi applicati al regolo calcolatore, il calcolo proporzionale applicato alla progettazione dei circuiti elettronici nei computer e così via;
- illustrare come sono cambiate le capacità di calcolo del calcolatore: mentre i primi calcolatori erano in grado di eseguire solo le più semplici operazioni sui numeri, oggi le capacità del calcolatore hanno di gran lunga superato questo traguardo.

Attualmente, il calcolatore permette di investigare aspetti della matematica che difficilmente potrebbero essere esplorati mediante calcoli manuali. Il calcolatore è una sorta di cannocchiale in grado di amplificare le nostre capacità nello studio della matematica. Gli studenti dovrebbero comprendere che fare matematica oggi con il calcolatore non significa eseguire solo calcoli numerici: il calcolatore moderno ha esteso il campo d'applicazione ben oltre ciò che avevano immaginato i primi inventori delle macchine calcolatrici. Quali capacità di calcolo ci si può aspettare da un calcolatore? Cosa significa "calcolare"? Questo lavoro vuole portare lo studente a comprendere che il termine calcolatore ha assunto nel tempo un significato sempre più ampio e ricco, fino a comprendere attività un tempo predominio esclusivo dell'intelligenza umana. Ad esempio, lo studio del grafico di una funzione matematica o il calcolo della derivata simbolica di una funzione costituiscono, oggi, semplici applicazioni presenti in numerose calcolatrici tascabili e questi compiti non erano certo stati previsti nei primi calcolatori. Cosa ancora più importante, l'introduzione dei calcolatori ha portato ad indagare in termini rigorosi la natura stessa del processo di calcolo dando via al settore della teoria della computabilità.

Gli attuali calcolatori non sono il frutto del lavoro di un singolo inventore e di una singola idea geniale ma sono il risultato di tante idee legate al contributo di molti studiosi e sperimentatori appartenenti a diverse discipline. La storia dei calcolatori è infatti caratterizzata da diversi filoni con proposte talvolta complementari e altre volte divergenti. Per questo motivo, il modulo didattico qui presentato è articolato in diverse unità didattiche che non riflettono necessariamente una rigida sequenza cronologica, ma mirano ad illustrare le diverse strade percorse nel cercare soluzioni al calcolo automatizzato. Un'unità didattica è poi dedicata al software: la componente meno

visibile del calcolatore ma non per questo meno importante. Lo studente dovrebbe comprendere che il software rappresenta "l'anima" del computer moderno e ne determina il comportamento rendendo possibile l'applicazione di questa macchina in un numero infinito di contesti.

Dal punto di vista didattico, il tema affrontato si presenta con una molteplice valenza. Innanzi tutto, il percorso ideato costituisce una presentazione della storia dell'informatica con la sua straordinaria evoluzione tecnologica. Per svariate ragioni, gli aspetti storici risultano molto spesso i temi più trascurati nell'insegnamento dell'informatica e in genere delle scienze. Il lavoro vuole poi introdurre lo studente ad alcuni temi fondamentali dell'informatica: dal concetto di algoritmo al computer come macchina programmabile, dal software alle macchine virtuali, dall'elaborazione numerica a quella simbolica. Bisogna poi ricordare che non solo la matematica si serve di strumenti di ausilio, ma questi strumenti a loro volta si sono arricchiti di idee matematiche interessanti, talvolta innovative. Ogni strumento di calcolo racchiude sempre concetti matematici che ci portano a sottolineare come il legame tra numeri e macchine sia caratterizzato da una sinergia continua tra la matematica e la progettazione dei dispositivi di calcolo. La ricostruzione di semplici strumenti di calcolo, come proposto nel modulo, dovrebbe aiutare gli studenti a penetrare i principi matematici che ne determinano il funzionamento. Infine, l'unità didattica più vicina al moderno calcolatore introduce la struttura e il funzionamento degli attuali calcolatori presentando i componenti fondamentali e il loro ruolo nell'elaborazione delle informazioni.

Questo modulo didattico non mira a presentare l'evoluzione degli strumenti di calcolo approfondendo in modo tecnico la complessità delle tecnologie informatiche, ma procede attraverso un percorso didattico "aperto" agli studenti delle Scuole Medie Superiori che non abbiano una particolare preparazione nel settore delle tecnologie elettroniche. Le diverse tappe che hanno caratterizzato la storia dell'informatica vengono introdotte il più possibile mediante oggetti e strumenti, proponendone in vari casi la ricostruzione perché siamo convinti che un lavoro diretto sugli oggetti sia spesso più efficace in termini didattici di molte parole ascoltate in modo passivo. Ogni lezione presenta agli allievi diversi oggetti, inseriti in un particolare cammino e una breve descrizione ne illustra il ruolo e la cornice storica. Naturalmente, al fine di completare didatticamente la presentazione, l'insegnante farà uso anche di trasparenze o diapositive con figure di calcolatori storici e di personaggi che hanno contribuito in modo determinante alla storia dell'informatica. Figure con schemi di strumenti di calcolo e con rappresentazioni di componenti relativi ai computer aiuteranno poi lo studente nella comprensione dei principi di funzionamento di questi calcolatori. Sebbene gli argomenti che caratterizzano l'evoluzione degli strumenti di calcolo si prestino a numerosi approfondimenti, al fine di mantenere agile la trattazione del tema affrontato, si è preferito fare una scelta dei contenuti utile sotto il profilo didattico e sufficientemente sintetica da poter essere trattata in un modulo didattico di una trentina di ore.

Tra i diversi tipi di approfondimenti relativi all'informatica, l'aspetto storico è sembrato quello di più facile accessibilità all'allievo delle scuole superiori poiché non presuppone un particolare background. A questo proposito, il modulo didattico qui presentato è stato scritto in modo da essere il più possibile "self-contained" evitando gli approfondimenti tecnici che ne avrebbero reso difficile la comprensione all'allievo non specializzato nei settori elettronico o informatico. Infine, l'aspetto storico caratterizzante questo lavoro può costituire un tema di approfondimento e di collegamento con altre discipline, quali quelle storiche e filosofiche, con cui non sempre è facile trovare punti di contatto.

Questa unità didattica nasce dall'esperienza acquisita in seguito ad alcuni corsi di informatica e di matematica che l'autore ha tenuto qualche anno fa con la presentazione del materiale qui illustrato. L'interesse evidenziato dagli allievi ha incoraggiato a proseguire nella raccolta e nella presentazione del materiale. La realizzazione della mostra "*Numeri e Macchine*" (presso l'Università di Udine, prima nel febbraio 2000 insieme alla sezione Mathesis di Udine e poi nel marzo 2001 nell'ambito della *Giornate della Cultura Scientifica*) è stata l'occasione per riorganizzare il materiale raccolto negli anni precedenti (nel sito <http://www.dimi.uniud.it/cicloinf/museo/> dell'Università di Udine è presente un museo virtuale che descrive in maggiore dettaglio la mostra).

1. Organizzazione del Modulo

1.1. Destinatari e contesto didattico

Il percorso didattico è pensato per una classe del terzo anno delle scuole medie superiori (in particolare Liceo Scientifico, Liceo Scientifico Tecnologico o Istituto Tecnico Industriale), quando gli allievi hanno già maturato alcune conoscenze di base di matematica utili per la comprensione dei principi di funzionamento di vari strumenti di calcolo (ad esempio, similitudine dei triangoli, i logaritmi, il calcolo proposizionale, ecc). Inoltre, può risultare utile una minima esperienza degli allievi con un linguaggio di programmazione (ad esempio, il Pascal). Con opportune semplificazioni è possibile trattare il modulo anche con classi del biennio delle scuole medie superiori. In passato, il modulo (in una versione semplificata e ridotta) è stato sperimentato dall'autore in due classi seconde di un liceo scientifico con indirizzo sperimentale Brocca.

Il lavoro presentato in questo modulo può essere affrontato nell'ambito di un'area di approfondimento o in un'area di progetto. Il periodo di svolgimento dovrebbe comunque tener conto dei prerequisiti indicati specificatamente nella sezione 3. Per alcuni aspetti inerenti alla tecnologia elettronica, l'insegnante dovrà tener conto del fatto che tali argomenti sono normalmente oggetto di trattazione del corso del quinto anno delle superiori e, quindi, richiedono una trattazione semplificata per allievi del terzo anno.

La maggior parte del modulo può essere sviluppata dall'insegnante di Matematica, oppure dall'insegnante di Informatica. Per alcuni aspetti di carattere tecnologico possono risultare utili le collaborazioni con l'insegnante di Fisica e con l'insegnante di Scienze.

1.2. Articolazione del modulo didattico

Nella preparazione del modulo didattico si è cercato di organizzare i contenuti attorno a poche unità didattiche correlate in modo che lo studente non abbia una visione frammentaria e dispersiva della materia da studiare. La scelta dei contenuti tiene conto della necessità di stimolare l'allievo all'apprendimento di quei nodi concettuali che vengono considerate fondamentali nella storia dell'informatica. Più precisamente, il percorso didattico copre i seguenti argomenti:

1. **strumenti primitivi per la rappresentazione dei numeri:** le taglie, l'abaco, le tavole numeriche, ecc. rappresentano i primi strumenti rudimentali in grado di aiutare l'uomo nell'esecuzione di operazioni con i numeri;
2. **calcolatori meccanici:** i primi strumenti (di tipo analogico e di tipo digitale) in grado di eseguire autonomamente operazioni matematiche sono stati introdotti a partire dal 1600;
3. **calcolatori programmabili:** il moderno computer trova le sue radici nel concetto di macchina programmabile introdotto da Babbage nel 1800 e nell'applicazione dell'elettronica alle macchine per il calcolo;
4. **l'architettura fisica del computer moderno:** a partire dal 1945 le tecnologie elettroniche hanno vissuto uno straordinario miglioramento e questo ha permesso di moltiplicare in modo sensazionale le capacità degli attuali computer;
5. **il software:** dai primi programmi, che erano per lo più dedicati al calcolo numerico, si è passati un po' alla volta a programmi sempre più complessi fino alla realizzazione di pacchetti applicativi in grado di eseguire elaborazioni matematiche di tipo simbolico; una più profonda comprensione del ruolo del software nel controllo dei computer ha inoltre portato all'introduzione del concetto di macchina virtuale, fondamentale nel determinare il volto dei moderni computer.

Il modulo riflette questa suddivisione tematica ed è articolato in cinque unità didattiche che verranno illustrate agli studenti dall'insegnante di Matematica o di Informatica. Gli argomenti delle ultime due unità sono i più vicini al moderno computer e possono costituire un'introduzione all'informatica.

1.3. Struttura di un'unità didattica

Ciascuna unità didattica inclusa nel modulo è dedicata ad un aspetto specifico dell'evoluzione degli strumenti di calcolo (strumenti di calcolo, personaggi, tecnologie, ecc.) e la trattazione degli argomenti in essa considerati in classe può richiedere una o più lezioni, secondo i tempi suggeriti nella sezione 3.

In questo documento (più precisamente, nella sezione 3) la descrizione di ogni unità didattica da trattare è strutturata nel seguente modo:

- *prerequisiti*: sono indicate le conoscenze e le capacità richieste agli studenti per affrontare l'unità; dal momento che i temi considerati nel modulo sono correlati a numerosi argomenti che generalmente vengono trattati in momenti diversi del corso di studi delle superiori (e in discipline diverse), è compito dell'insegnante scegliere il giusto livello di approfondimento per ciascun concetto, adattandolo alle conoscenze e alle capacità maturate dagli allievi;
- *obiettivi*: sono specificati gli obiettivi didattici che si intende perseguire con lo svolgimento dell'unità;
- *tempi*: è indicato il numero di ore approssimativamente richiesti per il trattamento dell'unità;
- *riferimenti bibliografici generali*: sono riportati i riferimenti (libri o siti web) utili per reperire la descrizione degli strumenti e degli aspetti trattati nell'unità; in tali riferimenti è possibile rintracciare anche le figure adatte per completare la trattazione dell'unità didattica; altri riferimenti bibliografici particolari sono indicati nelle descrizioni dedicate a ciascuno strumento di calcolo considerato;
- *contenuti*: sono descritti i concetti e gli strumenti di calcolo trattati nell'unità; in questo documento non viene fatta una descrizione sistematica dei contenuti, preferendo rimandare gli approfondimenti alla bibliografia e ai siti web.
- *modalità didattiche*: è illustrato il tipo di attività didattica che l'insegnante può adottare in classe per presentare le varie nozioni; per lo studio di alcuni strumenti di calcolo è stata proposta anche la realizzazione in aula di tali strumenti; in questa parte vengono suggeriti anche i lavori domestici che l'insegnante può assegnare agli studenti per approfondire il tema considerato; alcuni di questi lavori domestici consistono nella realizzazione di strumenti di calcolo;
- *materiali*: sono indicati gli strumenti di calcolo o le parti di computer da mostrare agli allievi per presentare i vari aspetti della storia dell'informatica; per gli strumenti non disponibili o che non possono essere reperiti vengono indicate le figure (e i riferimenti bibliografici) che possono essere impiegate per la trattazione.

Nella sezione 3 sono presenti anche diverse figure tratte dal museo virtuale "Numeri e Macchine" esemplificative di alcuni momenti dell'evoluzione degli strumenti di calcolo. Nella bibliografia allegata al presente documento l'insegnante può trovare una scelta più ampia di figure utili per lo svolgimento dell'intero modulo.

Nel dialogo educativo con la classe si possono adottare vari tipi di attività didattiche. In generale, è preferibile diversificare le modalità con cui si intende favorire l'apprendimento cercando di dare allo studente un ruolo attivo nel processo di apprendimento. L'efficacia didattica la si raggiunge non solo presentando le idee in modo chiaro, completo e ben argomentato, ma cercando di tenere alto il coinvolgimento e l'interesse dello studente. Per questa ragione, oltre alla lezione frontale di tipo tradizionale sono state considerate altre modalità didattiche che coinvolgono la partecipazione dell'allievo. Inoltre, la ricchezza di modalità didattiche è importante per il fatto che gli studenti possono avere diversi stili di apprendimento: certi studenti sono in grado di apprendere bene da un libro o da una lezione frontale, altri studenti preferiscono invece una lezione più interattiva o di tipo sperimentale. Le modalità didattiche che sono state considerate nello svolgimento di questo modulo includono:

- **lezione frontale**: l'insegnante descrive e presenta direttamente i temi delle unità didattiche, mentre gli allievi ascoltano e prendono appunti;
- **lezione interattiva**: l'insegnante discute insieme agli allievi le idee fondamentali per lo sviluppo dei computer sollecitando una partecipazione attiva degli allievi nel dialogo educativo; il ruolo dell'insegnante è quello di porre domande agli allievi in modo che essi pervengano con un certo grado di autonomia alla comprensione dei concetti desiderati;
- **lezione con lavoro di gruppo**: la classe viene suddivisa in gruppi che procedono in modo autonomo nello svolgimento di determinati compiti assegnati dall'insegnante (ad esempio, la realizzazione e lo studio un certo strumento di calcolo);
- **lezione nel laboratorio di informatica**: per lo studio di alcuni aspetti (ad esempio, il software) può essere utile coinvolgere la classe in una esercitazione su PC nel laboratorio di informatica con l'ausilio di alcuni pacchetti applicativi (per esempio, Derive per il calcolo matematico, ambiente di programmazione per il Pascal, ecc);

- **lezione di tipo sperimentale:** per lo studio di alcuni principi fisici o matematici sottostanti al funzionamento degli strumenti di calcolo può essere utile proporre agli allievi lo svolgimento di determinati esperimenti in laboratorio; in particolare, queste lezioni possono essere svolte nel laboratorio di Fisica (o di Tecnologia).

Nelle lezioni di tipo frontale, l'efficacia della presentazione può essere migliorata utilizzando la lavagna luminosa (o il video proiettore, o il proiettore di diapositive) per illustrare concetti o figure inerenti l'evoluzione degli strumenti di calcolo. Normalmente le figure verranno impiegate solo in mancanza di oggetti idonei per presentare un determinato aspetto dell'evoluzione dei calcolatori. In generale, conviene realizzare testi descrittivi, schemi, grafici o figure utili per aiutare lo studente nella comprensione degli strumenti di calcolo considerati; è bene comunque evitare testi descrittivi troppo verbosi.

Infine, si ritiene che la costruzione diretta di strumenti di calcolo da parte degli allievi abbia una particolare efficacia didattica per il tipo di coinvolgimento richiesto e per il fatto che il corretto funzionamento di uno strumento richiede quasi sempre una buona comprensione dei principi che stanno dietro a tale strumento. Pertanto, come si è già detto, nelle unità didattiche sono presenti diverse proposte orientate alla realizzazione di strumenti da parte degli allievi.

1.4. Materiale didattico utilizzato

Per l'approfondimento dei temi trattati in questo modulo sono disponibili numerosi testi. Nella bibliografia inclusa nel documento viene suggerita una selezione di testi che possono essere impiegati come riferimento per la preparazione delle lezioni e del materiale didattico. L'insegnante può inoltre reperire una grande quantità di informazioni sui numerosi siti internet disponibili sull'argomento. Anche di questi viene data una selezione in fondo al documento. Naturalmente, nella preparazione dei contenuti è bene che l'insegnante valuti quali aspetti tecnologici che è opportuno da trattare realizzando descrizioni commisurate al livello della classe e al tempo a disposizione per trattare il modulo. Nel sito dedicato alla mostra *Numeri e Macchine* (<http://www.dimi.uniud.it/cicloinf/museo/>) ciascun strumento di calcolo viene presentato con una descrizione abbastanza sintetica.

Come è stato già detto, si è cercato di impostare lo sviluppo del modulo facendo ricorso a strumenti di calcolo che verranno portati in classe e illustrati dall'insegnante, o verranno ricostruiti dagli allievi stessi. A questo proposito, si osserva che molti degli oggetti impiegati per lo svolgimento del modulo possono essere facilmente acquistati (ad esempio, pile, lampadine, relè, filo elettrico per la realizzazione di semplici circuiti logici si possono facilmente reperire in negozi di materiale elettrico) o possono essere costruiti utilizzando materiale di uso comune (ad esempio, righelli di legno, creta, spago, ecc). Altro materiale di tipo elettronico può essere reperito nelle fiere di elettronica dedicate al materiale di surplus o di antiquariato. Altri oggetti, come calcolatrici meccaniche o elettromeccaniche, ingranaggi di orologi meccanici, ecc. possono essere trovati nelle fiere di antiquariato.

Per tutti gli oggetti storici che non possono essere direttamente recuperati, l'insegnante può far uso di trasparenze o diapositive con le figure degli strumenti di calcolo da presentare. A questo proposito, molte delle figure suggerite nelle varie unità possono essere facilmente rintracciate nei testi indicati in bibliografia. Altre figure possono essere reperite su internet nei siti dedicati alla storia dell'informatica e della matematica (si veda, ad esempio, l'elenco di siti proposti in fondo al documento).

Il materiale che si intende presentare nel percorso didattico include approssimativamente:

- oggetti presentati dall'insegnante: n. 120;
- trasparenze con testi descrittivi e figure: n. 150 fogli

Per una più efficace presentazione dell'unità dedicata al software, si propone di utilizzare il laboratorio di Informatica con calcolatori PC che abbiano installato le applicazioni indicate nell'unità.

Per le attività didattiche in cui si propone la realizzazione e la sperimentazione di alcuni strumenti di calcolo (ad esempio, i regoli calcolatori) o lo studio di alcuni principi fisici (ad esempio, i circuiti logici) può essere utile fare uso del laboratorio di Fisica (o del laboratorio di Tecnologia).

Nella parte dedicata ai circuiti integrati viene fatto uso di microscopi (di tipo normale) per la visione ingrandita del chip di alcuni circuiti integrati.

1.5. Valutazione degli allievi

In generale, la valutazione dell'apprendimento degli allievi costituisce un momento fondamentale dell'attività didattica assumendo la funzione di strumento regolatore dei processi di insegnamento e di apprendimento. Per questo modulo la verifica del raggiungimento degli obiettivi può essere scritta, orale o sotto forma di test anche di tipo strutturato. Comunque, dal momento che l'attività didattica proposta (e descritta più in dettaglio nella sezione 3) prevede spesso un tipo di lezione interattiva con discussione, si ritiene che numerosi elementi di valutazione possano essere raccolti nell'ambito di tale modalità didattica. Altri elementi di valutazione possono poi derivare dal lavoro (anche domestico) proposto agli allievi per la ricostruzione di diversi strumenti di calcolo.

Per quanto riguarda i criteri da seguire per la valutazione del livello di apprendimento, le eventuali verifiche (scritte ed orali), oltre ad evidenziare la conoscenza di determinati contenuti, dovranno testare la comprensione dei principi fondamentali alla base dei diversi strumenti di calcolo, la correttezza espressiva e le capacità di intuizione dello studente. I parametri essenziali per la valutazione saranno:

- conoscenza degli argomenti oggetto dello studio: solo mnemonica o più approfondita con comprensione reale dei concetti presi in esame;
- capacità di ragionamento nella comprensione del funzionamento degli strumenti matematici considerati nel modulo;
- abilità di sintesi e di analisi dei concetti trattati nel modulo con possibilità di collegamenti logico-deduttivi;
- esposizione chiara, corretta ed organica con uso preciso del linguaggio e della relativa simbologia.

2. Contenuti del Modulo Didattico

2.1. Articolazione del modulo in unità didattiche

Il percorso didattico sviluppa vari aspetti della storia dell'informatica ed è articolato in 5 unità didattiche. Nell'ambito di ciascuna unità vengono trattati diversi aspetti come illustrato qui di seguito:

Unità 1: Strumenti primitivi per la rappresentazione dei numeri

1. strumenti primitivi di rappresentazione (sassi, taglie, cordoncini annodati, ecc.)
2. abachi;
3. la scrittura e i sistemi di numerazione (strumenti di scrittura, sistemi pre-posizionali e posizionali);
4. tavole matematiche (tavole pitagoriche, logaritmiche, trigonometriche, ecc);

Unità 2: Calcolatori meccanici

5. calcolatori analogici: calcoli mediante regoli e compassi;
6. ingranaggi e calcolatori digitali: macchine calcolatrici meccaniche;

Unità 3: Calcolatori programmabili

7. macchine automatiche (automi, telaio Jacquard, pianola, ecc);
8. Babbage e i calcolatori programmabili;
9. preludio ai calcolatori elettronici;
10. l'età eroica dei calcolatori elettronici programmabili;

Unità 4: L'architettura fisica del computer moderno

11. i mattoni elementari dei calcolatori elettronici;
12. la tecnologia dei calcolatori della prima generazione;
13. i calcolatori a transistor;
14. la rivoluzione dei circuiti integrati;
15. la memoria centrale dei computer;
16. la memoria secondaria dei computer;
17. dispositivi di ingresso e uscita;
18. calcolatori tascabili (e personal computer);

Unità 5: Il software

19. computer e macchine virtuali;
20. elaborazione matematica non numerica.

2.2. Sommario sintetico dei contenuti delle unità didattiche

Questa sezione dà una breve descrizione degli argomenti affrontati nelle unità. Poiché lo scopo di queste descrizioni è solo quello di illustrare sinteticamente i temi considerati nell'unità, descrizioni più ampie dei contenuti necessari all'insegnante per trattare le unità vengono date nel sito <http://www.dimi.uniud.it/cicloinf/museo/> dell'Università di Udine e nelle indicazioni bibliografiche presenti nella sezione 3 del documento.

Temi approfonditi nell'unità 1

- **Strumenti primitivi di rappresentazione.** La storia del calcolo ha inizio con quella delle antiche civiltà e per lungo tempo è legata all'impiego di strumenti molto semplici ma efficaci per operare con numeri. La natura astratta dei numeri ha infatti spinto l'uomo a inventare strumenti utili per "visualizzare" e manipolare i numeri. Gli strumenti considerati in questa unità non sono veri calcolatori in grado di eseguire autonomamente calcoli matematici, ma hanno comunque dato un aiuto importante all'uomo nella rappresentazione dei numeri ponendo le premesse necessarie per giungere al calcolo automatico.
- **Abachi.** L'abaco rappresenta uno dei primi strumenti specificatamente dedicato al calcolo. L'abaco deriva dall'uso dei sassolini e dei gettoni per contare e in un certo senso ne costituisce un raffinamento: i sassolini sono organizzati in modo sistematico su diverse file e assumono un valore diverso a seconda della fila di appartenenza. Nella sua lunga storia, l'abaco è passato attraverso variazioni continue nelle forme, nei materiali, nella costituzione: fu in metallo, in legno, tascabile, da ufficio, a pallottoliere, ecc. Questo strumento inoltre non è legato ad un particolare luogo ma è stato utilizzato ovunque in diverse forme, evolvendo per opera dei vari utilizzatori (agrimensori, astronomi, contabili, ecc.).
- **La scrittura e i sistemi di numerazione.** La scrittura dei numeri ha posto per molti secoli il problema di individuare una rappresentazione comoda ed efficace per i numeri. Presso le civiltà antiche sono stati utilizzati diversi tipi di notazioni, talvolta molto diverse tra loro e dal sistema attualmente adottato. I primi sistemi di numerazione furono per lo più *di tipo additivo* fondati sull'uso di una qualche base. Le origini dell'attuale sistema di numerazione, il sistema posizionale decimale, non sono del tutto chiare. Gli studiosi concordano comunque sul fatto che furono gli indiani, forse nel VI sec. d.C., ad ideare il sistema di numerazione decimale posizionale. L'introduzione del sistema decimale si può considerare un'autentica rivoluzione, per certi versi confrontabile all'attuale introduzione del computer. Noi oggi siamo così abituati a questo sistema da non renderci conto della sua immensa importanza nel facilitare le operazioni.
- **Tavole matematiche.** Tra i diversi ausili impiegati per svolgere più velocemente i calcoli, le tavole matematiche sono state uno degli strumenti più diffusi. Si tratta di tabelle precompilate contenenti i risultati per le operazioni più comuni calcolate per numerosi valori. L'idea di utilizzare tabelle precompilate risale all'antichità, come testimoniato da numerose tavolette sumeriche, babilonesi, ecc., contenenti svariate tabelle numeriche.

Temi approfonditi nell'unità 2

- **Calcolatori analogici.** Il secolo della svolta per i primi veri calcolatori fu il 1600. Due furono le scoperte che maggiormente contribuirono a raggiungere il calcolo automatico: (i) l'invenzione dei *logaritmi* e la scoperta delle loro proprietà aprirono la strada all'invenzione del regolo calcolatore; (ii) l'invenzione degli *orologi* (a pendolo) con il conseguente progresso della meccanica di precisione aprirono la strada alla costruzione delle prime calcolatrici meccaniche. Il regolo calcolatore e la calcolatrice meccanica, inventati quasi negli stessi anni, sono anche rappresentativi dei due paradigmi alternativi che hanno caratterizzato l'invenzione dei primi calcolatori: le macchine a rappresentazione analogica e le macchine a rappresentazione numerica (o digitale). Tra i diversi tipi di calcolatori analogici quello che ha raggiunto la maggiore diffusione è stato certamente il regolo calcolatore. La strada per arrivare all'invenzione del regolo calcolatore fu aperta da Nepero con l'introduzione dei logaritmi, sebbene egli abbia utilizzato questa scoperta solo nell'ambito delle tavole matematiche.
- **Ingranaggi e calcolatori.** A partire dal '600, la costruzione di orologi sempre più complessi e, parallelamente, sempre più piccoli e precisi portò la meccanica di precisione a un altissimo livello, lasciando così una preziosa eredità tecnologica all'emergente disciplina del calcolo automatico: la *ruota dentata*. Sino all'avvento dell'elettronica, la ruota dentata costituirà la base costruttiva fondamentale per il calcolo meccanico digitale.

Temi approfonditi nell'unità 3

- **Macchine automatiche.** Il primo a comprendere il ruolo chiave del concetto di programmazione nell'ambito dei calcolatori fu l'ingegnere e matematico inglese Charles Babbage. Tra i vari fattori che influenzarono Babbage vanno segnalati il *meccanicismo* che caratterizzò il pensiero culturale 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). Questa idea la ritroviamo riespressa successivamente nel *telaio Jacquard*: il telaio non solo è in grado di funzionare autonomamente grazie ad una propria forza interna (assicurata dal motore a vapore), ma può svolgere anche operazioni complesse con il controllo delle schede perforate.
- **Babbage e i calcolatori programmabili.** 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)* che doveva essere, nei progetti di Babbage, un calcolatore "programmabile", cioè uno strumento di calcolo "universale" le cui operazioni possono essere di volta in volta specificate insieme ai dati da elaborare. La Macchina Analitica rappresentava un progetto estremamente innovativo, ma la complessità e la precisione richiesta per i suoi meccanismi e la mancanza di fondi resero impossibile la realizzazione concreta di tale strumento.
- **Preludio ai calcolatori elettronici.** L'impiego di dispositivi elettrici nell'ambito del calcolo era cominciato già all'inizio del '900, ma solo negli anni '30 si compresero appieno le enormi potenzialità di questa nuova tecnologia per la costruzione dei calcolatori. Il passaggio tra la tecnologia meccanica e quella elettrica non fu immediato ma richiese circa un trentennio, dai primi anni del '900 alla fine degli anni '30. Un settore importante che influenzò lo sviluppo di queste idee è quello della telefonia, la cui gestione aveva posto diverse problematiche inerenti al controllo e gestione di informazioni. Durante gli anni '30 e '40 alcuni inventori costruirono dei dispositivi di calcolo basati su relè o valvole termoioniche in grado di svolgere le operazioni matematiche più semplici. Sebbene nessuna di queste macchine si possa considerare un computer nel senso moderno, esse anticiparono diverse soluzioni tecnologiche necessarie per il passo successivo, il calcolatore elettronico programmabile.
- **L'età eroica dei calcolatori elettronici.** Lo sviluppo degli elaboratori elettronici può essere diviso in due periodi: *dal 1938 al 1948*: il calcolatore è controllato da un programma su nastro perforato o cablato in una configurazione di cavetti ed interruttori; manca inoltre un'architettura di riferimento precisa per i calcolatori; *dopo il 1948*: i computer cominciano ad essere realizzati secondo l'architettura di von Neumann; in particolare, il programma che controlla le operazioni da svolgere risiede nella memoria del calcolatore insieme ai dati.

Temi approfonditi nell'unità 4

- **I mattoni elementari dei calcolatori elettronici.** Come abbiamo visto, la tecnologia che ha permesso di realizzare i calcolatori programmabili non è stata quella meccanica, secondo la strada intrapresa da Babbage, bensì quella elettronica. Un problema importante che si presentò nella realizzazione dei moderni calcolatori fu quello relativo alla scelta di un'opportuna rappresentazione delle informazioni numeriche: metodo analogico o metodo digitale? La scelta decisiva fu quella di tipo digitale con la rappresentazione dei numeri e, più in generale, di tutte le informazioni in forma binaria. Uno dei componenti essenziali dell'architettura dei calcolatori è costituito dalle reti logiche, che hanno il compito di elaborare le informazioni all'interno dei calcolatori. Queste reti sono formate da più *porte logiche* connesse tra loro e permettono di elaborare informazioni anche molto complesse. Le reti logiche, come le porte logiche, sono chiamate "logiche" perché il comportamento della rete può essere descritto mediante la logica proposizionale.
- **La tecnologia dei calcolatori della prima generazione.** Uno degli aspetti più sorprendenti della rivoluzione elettronica nei calcolatori è costituito dallo straordinario progresso che ha caratterizzato i dispositivi elettronici in termini di velocità, affidabilità, miniaturizzazione, ecc. L'interruttore di corrente elettrica costituisce il "mattoncino" elementare utilizzato per manipolare le informazioni e con esso vengono realizzate in definitiva tutte le reti logiche. Poiché la velocità con cui un interruttore si apre o si chiude (detto *tempo di commutazione*) condiziona in modo rilevante la velocità di calcolo, dall'invenzione dei primi calcolatori ad oggi si è cercato di migliorare questo meccanismo rendendolo sempre più veloce. Inoltre, la necessità di elaborare grandi quantità di informazioni ha imposto anche l'esigenza di compattare in spazi ristretti un numero sempre più grande di interruttori fino a raggiungere livelli di miniaturizzazione impensabili nei primi calcolatori.
- **I calcolatori a transistor.** Un primo passo molto importante verso la miniaturizzazione dei circuiti elettronici derivò dall'invenzione del transistor che permise, a partire dagli anni '50, di rendere molto più piccoli le dimensioni dei circuiti logici necessari per il funzionamento del calcolatore. Il transistor (a punte di contatto) era stato scoperto nel dicembre del 1947 da W. Shockley, W. Bardeen e W. Brattain presso i laboratori della Bell Telephone. La sua introduzione ha rivoluzionato completamente il settore elettronico

aprendo la strada a tutti i moderni dispositivi elettronici in sostituzione dei tubi elettronici, rispetto ai quali presenta diversi vantaggi: dimensioni molto ridotte, potenza dissipata molto minore, tensione di lavoro più bassa, dispersione di calore molto inferiore, durata senza degradazione delle prestazioni praticamente illimitata, maggiore affidabilità, infine costi assai più limitati. I primi calcolatori realizzati interamente con i transistor furono il TRADIC (realizzato negli Stati Uniti presso i Bell Telephone Laboratories nel 1955) e il TX-0 (realizzato presso il MIT, nel 1956). In pochi anni l'introduzione del transistor rivoluzionò i computer e alla fine degli anni '50 i calcolatori a valvole termoioniche erano stati rimpiazzati completamente da quelli a transistor.

- **La rivoluzione dei circuiti integrati.** Nel 1958, l'ingegnere americano J.C. Kilby aprì l'era della miniaturizzazione dei circuiti elettronici riuscendo a combinare diversi componenti elettronici (transistor, diodi, resistenze, ecc.) su una piastrina di silicio di dimensioni più piccole di un francobollo. Via via che il procedimento di integrazione si perfezionò, si ottennero circuiti integrati sempre più ricchi di componenti e dalle funzioni più complesse, grazie ad una miniaturizzazione sempre più spinta. Nel 1971, tre ingegneri della Intel, Federico Faggin (di origine italiana), Ted Hoff e S. Mazer, progettarono e realizzarono il primo *microprocessore*, cioè un'intera CPU (processore) in un singolo circuito integrato. Attualmente, in un personal computer sia la CPU (microprocessore) sia gran parte dei dispositivi indispensabili per l'attività della CPU possono essere realizzati con la tecnologia dei circuiti integrati.
- **La memoria centrale dei computer.** Nell'architettura di von Neumann, la *memoria* è la componente più importante dopo la CPU. Questa deve permettere di conservare non solo le informazioni da elaborare ma deve consentire la memorizzazione anche del codice del programma in esecuzione. Inizialmente, la costruzione di unità di memoria anche di piccole dimensioni rappresentò un grosso problema. Per la costruzione delle unità di memoria furono quindi sperimentati vari tipi di dispositivi basati su diversi principi e un po' alla volta si individuarono le tecnologie adatte per la realizzazione di memorie sempre più capienti e veloci.
- **La memoria secondaria dei computer.** La memoria dei calcolatori si divide in due grandi categorie: *memoria centrale* (o *primaria*) e *memoria di massa* (o *secondaria*). La prima è una memoria veloce direttamente utilizzabile dalla CPU per eseguire le operazioni, mentre la seconda è una memoria ad accesso più lento su cui la CPU non può lavorare direttamente, ma che può essere prodotta in grande quantità. I costi di produzione della memoria centrale sono maggiori di quelli per realizzare memoria secondaria, pertanto al fine di ottenere un buon compromesso tra costi e prestazioni i calcolatori dispongono in generale più di memoria secondaria che non di memoria centrale. Infine, poiché i dispositivi impiegati attualmente per la memoria centrale non permettono di conservare i dati memorizzati dopo che il calcolatore è stato spento, le informazioni vengono conservate nella memoria secondaria in grado di funzionare anche con il calcolatore spento.
- **Dispositivi di ingresso e uscita.** Un computer per essere adeguatamente utilizzato deve disporre anche di opportuni meccanismi per dialogare con l'utente: i vari dispositivi dedicati a questo compito vengono chiamati *unità di ingresso e uscita*. Nei primi elaboratori questi dispositivi erano abbastanza primitivi poiché tutta l'attenzione era rivolta alla realizzazione della CPU e delle unità di memoria. Mano a mano che la diffusione e la commercializzazione del calcolatore ha portato ad un suo utilizzo anche da parte di personale non specializzato, è stato necessario introdurre unità di ingresso e uscita di maggiore semplicità nell'impiego. Oggi tutti i computer offrono diversi dispositivi che rendono pratico e "amichevole" il dialogo con questo strumento.
- **Calcolatrici tascabili.** Sia gli strumenti di calcolo meccanici di un tempo sia gli attuali calcolatori sono in generale di dimensioni troppo grandi per essere facilmente trasportati appresso e, per questo motivo, nel tempo, sono stati inventati diversi dispositivi di calcolo dimensioni ridotte. Negli anni '70, la rivoluzione elettronica ha introdotto anche l'uso delle calcolatrici elettroniche tascabili, strumenti molto flessibili per l'esecuzione dei calcoli più comuni. La successiva miniaturizzazione dei circuiti logici e il sensibile abbassamento dei prezzi dei componenti elettronici hanno introdotto l'utilizzo dei calcolatori nelle case di molte famiglie.

Temi approfonditi nell'unità 5

- **Computer e macchine virtuali.** La tecnologia elettronica ha permesso ai calcolatori di compiere un straordinario balzo in avanti. Ciò nonostante, dai primi anni '50 è emersa una nuova tecnologia che ha cambiato e continua ancora oggi a cambiare in modo straordinario il volto dei calcolatori: il software (SW), cioè l'insieme dei programmi che controllano le operazioni eseguite dalla macchina fisica. Questa tecnologia non è visibile, non è tangibile come le precedenti tecnologie, eppure sta cambiando in modo radicale le potenzialità calcolatori. Nella scrittura del SW giocano un ruolo fondamentale i linguaggi di programmazione. La loro evoluzione ha caratterizzato enormemente i diversi settori della informatica condizionando a sua volta la progettazione dei calcolatori.

- **Elaborazione matematica non numerica.** L'introduzione dei calcolatori programmabili ha rivoluzionato in modo impressionante le capacità di queste macchine ampliando sempre di più le possibili applicazioni. Nel campo matematico abbiamo assistito all'introduzione di sistemi che inglobano sempre di più facoltà un tempo predominio esclusivo dell'intelligenza umana. Inizialmente, l'ambito di applicazione dei calcolatori programmabili era esclusivamente di tipo numerico: risoluzione di equazioni complesse, interpolazione dati, sistemi lineari e così via. Negli anni '50 si prese coscienza del fatto che i calcolatori non sono solo macchine capaci di elaborare numeri (cioè *number crunchers*), ma sono strumenti più generali in grado di elaborare strutture matematiche più complesse, aprendo la strada all'elaborazione simbolica e alla dimostrazione automatica di teoremi.

